Prof. dr. ing. Gheorghe Amza
Prof. dr. ing. Gabriel Marius Dumitru
Conf. dr. ing. Viorel Ovidiu Rândaşu
As. dr. ing. Cătălin Gheorghe Amza

TRATAT DE TEHNOLOGIA MATERIALELOR



EDITURA ACADEMIEI ROMÂNE
Bucureşti, 2002

CUPRINS

Prefaţă 17
L Rolul şi importanţa tehnologiei. Principiile tehnologiei
(prof. dr. ing. Gh. Amza).. 19
1.1. Generalităţi.. 19
1.2. Principiile tehnologiei 21
1.2.1. Principiul multidimensional 21
1.2.2. Principiul eficienţei 29
1.2.3. Principul informaţiei. Principiul proiectării proceselor tehnologice 43
2. Materiale - clasificare, proprietăţi, utilizare
(prof. dr. ing. Gh. Amza).. 66
2.1. Generalităţi.. 66
2.2. Interdependenţa structură - proprietăţi.. 69
2.3. Clasificarea proprietăţilor materialelor.. 71
2.3.1. Proprietăţile funcţionale.. 74
2.3.2: Proprietăţile tehnologice 95
2.3.3. Proprietăţile economice 97
2.4. Metode pentru determinarea, studiul şi controlul proprietăţilor materialelor 98
2.4.1. Metode pentru determinarea compoziţiei chimice 99
2.4.2. Determinarea microstructurii şi macrostructurii 101
2.4.3. Metode pentru determinarea principalelor proprietăţi funcţionale 116
2.4.4. Metode pentru determinarea principalelor proprietăţi tehnologice 134
2.4.5. Metode speciale pentru determinarea, studiul şi controlul proprietăţilor materialelor 149
2.5. Elaborarea materialelor metalice
(prof. dr. ing. G. M. Dumitru, prof. dr. ing. Gh. Amza)................................ 156
2.5.1. Generalităţi 156

2.5.2. Prepararea minereurilor 160
2.5.3. Bazele teoretice ale extragerii metalurgice 161
2.5.4. Purificarea metalului brut 165
2.5.5. Obţinerea monocristalelor.. 168
2.5.6. Elaborarea primară a fontei.. 175
2.5.7. Elaborarea feroaliajelor... 181
2.5.8. Elaborarea secundară a fontei 182
2.5.9. Elaborarea oţelurilor.. 186
2.5.10. Procedee speciale de elaborare şi tratare a oţelurilor. 195
2.5.11. Elaborarea cuprului şi a aliajelor de cupru....................................... 198
2.5.12. Elaborarea aluminiului... 203
2.5.13. Elaborarea magneziului şi a aliajelor de magneziu 207
2.5.14. Elaborarea plumbului 210
2.5.15, Elaborarea zincului 212
2.5.16.Elaborarea nichelului şi a aliajelor de nichel.................................... 217
2.5.17.Elaborarea titanului si a aliajelor de titan 218

2.6. Clasificarea ţi standardizarea principalelor materiale metalice utilizate în construcţia de sisteme tehnologice 221
2.6.1 . Noţiuni introductive 221

2.6.2. Fontele.. 222
2.6.3. Oţelurile 224
2.6.4. Metalele şi aliajele neferoase.................................. 236
2.7. Alegerea materialului optim pentru confecţionarea unei piese 241
2.8 Tendinţe şi perspective privind utilizarea materialelor.. 247
2.9. Materialul şi procedeele de transformare ale acestuia 249
2.9.1. Comportarea sub acţiunea forţelor de transformare.. 249
2.9.2. Metode de generare a suprafeţelor. ....
3. Obţinerea pieselor prin turnare
(conf. dr. ing. Viorel Rîndaşu, prof. dr. ing. Gh. Amza) 259
3.1. Generalităţi 259
3.2. Bazele teoretice ale turnării. Particularităţile solidificării materialelor turnate 263

3.2.1. Noţiuni generale despre solidificarea pieselor turnate 263
3.2.2. Influenţa parametrilor de turnare asupra solidificării.. 265
3.2.3. Particularităţile procesului de solidificare 267
3.3. Proprietăţile de turnare ale materialelor 268
3.3.1. Proprietăţile de turnare ale metalelor şi aliajelor 268
3.3.2. Determinarea practică a proprietăţilor de turnare 270
3.3.3. Proprietăţile de turnare ale materialelor nemetalice... 273
3.4. Principiul obţinerii unei piese prin turnare 274
3.4.1. Generalităţi privind obţinerea unei piese prin turnare... 274
3.4.2. Principiul de obţinere a pieselor prin lumare.. 275
3.5. Pregătirea materialelor în vederea turnării... . 276
3.5.1. Pregătirea materialelor metalice în vederea turnării 276
3.5.2. Elaborarea materialelor compozite metalice în vederea turnării 283
3.5.3. Elaborarea materialelor nemetalice în vederea turnării.......................... 284
3.6. Clasificarea procedeelor de turnare.. 287
3.6.1. Criterii de clasificare 287
3.6.2. Procedee de turnare 289
3.7. Turnarea în forme temporare 292
3.7.1. Schema procesului tehnologic 292
3.7 2. Bazele proiectării modelelor şi cutiilor de miez... 294
3.7.3. Amplasarea piesei în forma de turnare... 298
3.7.4. Metode de formare 299
3.7.5. Metode de extragere a modelelor.. 309
3.7.6. Reţele de turnare. 310
3.7.7. Metode de turnare 313
3.7.8. Turnarea în forme temporare din amestec de formare obişnuit.................................. 314
3.7.9. Turnarea în forme temporare din amestec de formare special..................................... 322
3.7.10. Proccsul tehnologic de obţinere a unei piese prin turnare în forme temporare (în rame, în solul turnătoriei, în miezuri, în forme coji) 327
3.7.11. Tehnologii tip pentru piese turnate în forme temporare.. 345
3.8. Turnarea în forme permanente.. 353
3.8.1. Generalităţi.. 353
3.8.2. Turnarea în forme permanente fără suprapresiune 355
3.8 3. Turnarea în forme permanente cu sub presiune 357
3.8.4. Turnarea prin aspiraţie 365
3.8.5. Turnarea centrifugală 369

3.8.6. Turnarea continuă 375
3.8.7. Procesul tehnologic de obţinere a unei piese prin turnare în forme permanente.. 381
3.9. Procedee speciale de turnare 392
3.9.1. Turnarea prin expulzarea progresivă a jetului de aliaj topit 393
3.9.2. Turnarea prin matriţare lichidă 395
3.9.3. Turnarea cu modele uşor volatile 396
3.9.4. Turnarea în forme vidate 397
3.9.5. Turnarea în forme ceramice cu pereţi subţiri 399
3.9.6. Turnarea în forme hibride.. 400
3.9.7. Turnarea în foime criogenice 401
3.9.8. Turnarea în câmp ultrasonor... 403
3.9.9. Turnarea prin retopire în baie de zgură 405
3.9.10. Obţinerea prin turnare a materialelor cu proprietăţi speciale..................................... 409
3.10. Particularităţile turnării pieselor din metale şi aliaje industriale 410
3.10.1. Tumarea in piese a metalelor şi aliajelor 410
3.10.2. Turnarea materialelor compozite metalice 414
3.11. Particularităţile turnării pieselor din materiale nemetalice... 415
3.11.1. Turnarea betonului.... 416
3.11.2. Turnarea maselor plastice... 417
3.11.3. Turnarea sticlei 418
3.11.4. Turnarea cauciucului 418
3.11.5. Turnarea materialelor compozite nemetalice.. 418
3.12. Tratamente aplicate pieselor turnate după solidificare 419
3.12.1. Dezbaterea formelor.. 419
3.12.2. Curăţirea pieselor după turnare.. 421
3.12.3. Tratamentele termice şi termochimice 422
3.13. Defectele pieselor turnate 425
3.13.1. Generalităţi 425
3.13.2. Defectele cauzate de fenomenul de contracţie 426
3.13.3. Defectele cauzate de fenomenul de segregare 439
3.13.4. Defectele cauzate de pătrunderea gazelor în metalul sau aliajul lichid 440
3.14. Controlul pieselor turnate 440
3.15. Remanierea pieselor cu defecte de turnare 443
3.16. Tendinţe şi perspective în obţinerea semifabricatelor prin turnare... 453
3.17. Norme specifice de protecţia muncii 454
4. Obţinerea pieselor din pulberi metalice
(prof. dr. ing. G. Dumitru).. 456
4.1. Noţiuni introductive........... .... :.. 456
4.2. Obţinerea pulberilor metalice.. 459
4.2.1. Obţîîierea pulberilor metalice prin aşchiere 461
4.2.2. Obţinerea pulberilor metalice prin măcinare 461
4.2.3. Obţinerea pulberilor metalice prin procedeul Coldstream 462
4.2.4. Obţinerea pulberilor metalice prin pulverizare... 463
4.2.5. Obţinerea pulberilor metalice prin atomizare 464
4.2.6. Obţinerea pulberilor metalice prin reducerea oxizilor 464
4.2.7. Obţinerea pulberilor metalice prin electroliză 465
4.2.8. Obţinerea pulberilor metalice prin metoda carbonil 465
4.2.9. Obţinerea pulberilor metalice aliate.. 466
4.3. Proprietăţile pulberilor metalice. 467
4.3.1. Proprietăţile fizice ale pulberilor metalice............................... 467
4.3.2. Proprietăţile chimice ale pulberilor metalice 467
4.3.3. Proprietăţile mecanice ale pulberilor metalice.. 468

4.3.4. Proprietăţile tehnologice ale pulberilor metalice 468

4.4. Pregătirea amestecurilor din pulberi metalice 470
4.5. Formarea pieselor din pulberi metalice 470
4.5.1. Etapele procesului de compactare 471
4.5.2. Construcţia sculelor pentru compactare.. 475
4.5.3. Procedee de compactare a pulberilor metalice.. 477
4.6. Sintetizarea pulberilor.. 483
4.6.1. Mecanismul sinterizării... 483
4.6.2. Parametrii tehnologici ai sinterizării.. 485
4.6.3. Medii de sinterizare .... ,... 487
4.6.4. Utilaje pentru sinterizare.. 488
4.7. Procedee speciale de ob(inere a pieselor din pulberi metalice 490
4.7.1. Sintermatriţarea 490
4.7.2. Obţinerea pieselor din pulberi metalice prin injecţie în matriţă 491
4.8. Operaţii de prelucrare finală a pieselor din pulberi metalice... 493
4.8.1. Ajustarea prin aşchiere a pieselor din pulberi metalice 493
4.8.2. Calibrarea pieselor din pulberi metalice 494
4.8.3. Impregnarea pieselor din pulberi metalice.. 494
4.9. Proprietăţile pieselor din pulberi metalice 495
4.9.1. Proprietăţi fizice 495
4.9.2. Proprietăţi chimice... 496
4.9.3. Proprietăţi mecanice 496
4.10. Forma tehnologică a pieselor din pulberi metalice... 497
4.11. Domeniile de utilizare a pieselor din pulberi metalice 499
4.12. Eficienţa economică a pieselor din pulberi metalice 502
5. Obţinerea pieselor prin deformare plastică
(prof. dr. ing. Gh. Amza) 504
5.1. Introducere 504
5.2. Mecanismul prelucrării prin deformare plastică.. 506
5.2.1. Comportarea la deformare a materialelor 506
5.2.2. Deformarea materialelor 509
5.3. Noţiuni de teoria plasticităţii.. 513
5.3.1.Starea de tensiune 513
5.3.2. Starea de deformare 517
5.3.3. Starea plastică. Ipoteze de plasticitate.. 522
5.3 4. Legile de bază ale deformării plastice... 525
5.4. Fenomene ce însoţesc prelucrarea prin deformare plastică a materialelor 532
5.4.1. Creşterea eompactităţii şi a greutăţii specifice 533
5.4.2. Ecruisarea.. 533
5.4.3. Recristalizarea 534
5.4.4. Apariţia structurii fibroase.. 536
5.4.5. Modificarea proprietăţilor funcţionale şi tehnologice 537
5.5. încălzirea materialelor metalice în scopul prelucrării prin deformare plastică 539
5.5.1. Parametrii regimului termic al deformării... 539
5.5.2. Instalaţii folosite la încălzire în scopul prelucrării prin deformare plastică.................. 547
5.5.3. Deferte posibile la încălzire.. 551
5.6. Materiale pielucrabile prin deformare plastică. Clasificarea procedeelor de prelucrare
prin deformare plastică 552
5.6.1. Materiale prelucrabile prin deformare plastică... 552
5.6.2. Clasificmea procedeelor de prelucrare prin deformare plastică 553
5.7. Laminarea... 554

5.7.1. Definire. Scheme de principiu 554

5.7.2. Materiale prelucrabile prin laminare. Semifabricate iniţiale şi produse obţinute 556
5.7.3. Bazele teoretice ale laminării 559
5.7.4.Utilajul folosit la laminare 564

5.7.5. Clasificarea laminoarelor 566
5.7.6. Defectele produselor laminate.. 567
5.7.7. Tehnologia laminării 572
5.7.8. Procedee speciale de laminare 574
5.8. Extrudarea.. 584
5.8.1. Definire şi scheme de principiu.. 584
5.8.2. Bazele teoretice ale extrudării.. 586
5.8.3. Calculul forţei necesare la extrudare 589
5.8.4. Produse obţinute prin laminare 593
5.8.5. Scule folosite la extrudare.. 594
5.8.6. Criterii de alegere a condiţiilor de extrudare... 597
5.8.7. Defectele produselor extiudate.................... 598
5.8.8. Tehnologia extrudării 598
5.8.9. Procedee speciale de extrudare 599
5.9. Tragerea - trefilarea 604
5.9.1. Definire şi scheme de principiu.. 604
5.9.2. Bazele teoretice ale tragerii - trefilarii 605
5.9.3. Calculul forţei de tragere şi a numărului de treceri... 606
5.9.4. Scule şi dipozitive folosite la tragere - trefilare... 609
5.9.5. Produse obţinute prin tragere - trefilare 613
5.9.6. Tehnologia tragerii - trefilării. 615
5.9.7. Defectele produselor obţinute prin tragere-trefilare 616
5.9.8. Procedee speciale de tragere 618
5.10. Forjarea.. 619
5.10.1. Definire 619
5.10.2. Materiale şi semifabricate destinate forjării 619
5.10.3. Forjarea liberă.. 622
5.10.4. Forjarea în matriţă 638
5.11. Obţinerea pieselor din table 678
5.11.1. Generalităţi.. 678
5.11.2. Procedee tehnologice de prelucrare a tablelor prin tăiere 679
5.11.3. Procedee tehnologice de prelucrare a tablelor prin deformare plastică 690
5.11.4. Procedee speciale de prelucrare a tablelor 715
6. Obţinerea pieselor prin sudare
(prof. dr. ing. Gh. Amza) 724
6.1. Generalităţi 724
6.2. Principiul fizic al sudării... :. 726
6.3. Clasificarea procedeelor de sudare... 726
6.4. Macrostructura şi microstructura unei îmbinări sudate 728
6.5. Sudabilitatea (comportarea la sudare) materialelor.. 735
6.5.1. Generalităţi.. 735
6.5.2. încercări pentru determinarea sudabilităţii.. 736
6.5.3. Sudabilitatea oţelurilor... 739
6.5.4. Sudabilitatea fontelor 741
6.5.5. Sudabilitatea metalelor şi aliajelor neferoase.. 741
6.6. Materiale de adaos folosite la sudare.. 742
6.7. Sudarea prin topire cu energie electrică 743
6.7.1. Formarea şi elementele arcului electric 749

6.7.2. Trecerea materialului de adaos prin arcul electric 748
6.7.3. Surse de curent pentru sudarea prin topire cu arc electric 749
6.7.4. Sudarea manuală cu arc electric descoperit 752
6.7.5. Sudarea cu arc electric acoperii sub strat de flux 783
6.7.6. Sudarea în mediu de gaze protectoare... 806
6.7.7 . Sudarea clectrică prin topire sub baie de zgură 829

6.7.8. Sudarea cu plasma 833

6.8. Sudarea prin topire cu energie chimică 836
6.8.1 Sudarea cu flacără de gaze 836
6.8.2.Sudarea prin topire cu termit 851

6.9. Sudarea prin topire cu energie de radiaţie 853
6.9.1. Sudarea cu fascicul de electroni 853
6.9.2. Sudarea cu fascicul de fotoni... 856
6.10. Sudarea prin presiune.. 860
6.10.1. Generalităţi. Clarificarea procedeelor de sudare prin presiune................................. 860
6.10.2. Sudarea prin presiune cu energie electrică 860
6.10.3. Sudarea prin presiune cu energie mecanică 879
6.10.4. Sudarea prin presiune cu energie chimică 888
6.11. Tensiuni şi deformaţii în cusăturile sudate 889
6.1 l.l.Tensiuni remanente datorate sudării. 889
6.11.2. Deformaţii remanente datorate sudării...................... 892
6.11.3. Măsuri constructive şi tehnologice pentru reducerea tensiunilor şi deformaţiilor datorate sudării 894
6.12. Defectele îmbinărilor sudate... 897
6.12.1. Fisurile şi crăpăturile. 898
6.12.2. Porii şi suflurile 899
6.12.3. Incluziunile.. 900
6.12.4. Lipsa de pătrundere. 90l
6.12.5. Lipsa de topire 902
6.12.6. Supraîncălzirea şi arderea.. 902
6.12.7. Formarea unor compuşi cu fragilitate ridicată sau rezistenţă mică la coroziune 903
6.12.8. Defectele de formă.. 903
6.13. Tratamentele termice ale îmbinărilor sudate 904
6.14. Construcţii (structuri) sudate 906
6.14.1. Generalităţi.................................. 906
6.14.2. Construcţii sudate specifice organelor de maşini.. 907
6.14.3. Construcţii sudate de tipul conductelor... 911
6.14.4. Construcţii sudate de tipul rccipienţilor. 912
7. Obţinerea pieselor prin lipire
(conf. dr. ing. V. Rîndaşu, prof. dr. ing. Gh. Amza) 913
7.1. Generalităţi 913
7.2. Clasificarea procedeelor de asamblare prin lipire 915
7.3. Lipirea cu adezivi.. 916
7.3.1. Tipuri de adezivi şi lianţi... 918
7.3.2. Proiectarea formei asamblărilor lipite cu adezivi 920
7.4. Lipirea cu aliaje de lipit 924
7.4.1. Materiale pentru lipirea cu aliaje............................ ;.. 924
7.4.2. Proiectarea asamblărilor lipite cu aliaje 928
7.4.3. Tehnologii de lipire cu aliaje 931
8. Obţinerea pieselor prin aschiere

8.1.1. Noţiuni generale 934

8.1.2. Probleme actuale şi de perspectivă ale prelucrării prin aşchiere 935
8.1.3. Aspecte ale dezvoltării în timp a teoriei aşchierii şi a teoriei maşinilor-unelte.... 936
8.1.4. Noţiuni de bază privind generarea suprafeţelor prin aşchiere 937
8.1.5. Noţiuni generale despre principalele procedee dc generare prin aşchiere 943
8.2. Elemente de teoria generării suprafeţelor pe maşini-unelte 950
8.2.1. Generarea teoretică şi generarea reală a suprafeţelor 950
8.2.2. Realizarea traiectoriei generatoarei 952
8.2.3. Realizarea traiectoriei directoarei 955
8.2.4. Mişcările necesare la generarea suprafeţelor reale pe maşini-unelte......................... 958
8.3. Bazele aşchierii materialelor 962
8.3.1. Geometria sculelor aşchietoare 962
8.3.2. Parametrii geometrici ai stratului de aşchiere. 969
8.3.3. Procesul fizic de aşchiere 972
8.3.4. Forţele şi rezistenţele de aşchiere 975
8.3.5. Fenomene ce însoţesc procesul de aşchiere 979
8.4 .Elemente de teoria lanţurilor cinematice ale maşinilor-unelte 996

8.4.1. Definirea şi clasificarea lanţurilor cinematice 996
8.4.2. Funcţiile şi caracteristicile lanţurilor cinematice 999
8.4.3. Câteva mecanisme cu largă utilizare în lanţurile cinematice ale maşinilor-unelte 1001

8.5. Dispozitive folosite la prelucrarea prin aşchiere 1008
8.5.1. Definiţia, rolul şi structura dispozitivelor 1008
8.5.2. Orientarea pieselor-scmifabricat în dispozitive 1011
8.5.3. Fixarea semifabricatelor în dispozitive 1025
8.5.4. Sistemele de acţionare a mecanismelor de fixare a dispozitivelor 1032
8.6. Prelucrarea prin strunjire 1040
8.6.1. Definire. Scheme de principiu 1040
8.6.2. Generarea suprafeţelor prin strunjire 1040
8.6.3. Geometria sculelor aşchietoare. Tipuri de scuie folosite la strunjire 1044
8.6.4. Maşini-unelte şi dispozitive specifice la prelucrarea prin strunjire 1046
8.6.5. Stabilirea condiţiilor de lucru la strunjire 1056
8.6.6. Tipuri de prelucrări executate pe strunguri 1063
8.7. Prelucrarea prin rabotare 1068
8.7.1. Definire. Scheme de principiu 1068
8.7.2. Generarea suprafeţelor prin rabotare.................. 1069
8.7.3. Geometria sculelor aşchietoare. Tipuri de scule folosite la rabotare 1070
8.7.4. Maşini-unelte şi dispozitive specifice la prelucrarea prin rabotare 1072
8.7.5. Stabilirea condiţiilor de lucru la rabotare 1076
8.7.6. Tipuri de prelucrări executate pe maşinile de rabotat 1080
8.8. Prelucrarea prin mortezare 1081
8.8.1. Definire. Scheme de principiu 1081
8.8.2. Generarea suprafeţelor prin mortezare 1082
8.8.3. Geometria sculelor aşchietoare.Tipuri de scule folosite la mortezare 1083
8.8.4. Maşini-unelte şi dispozitive specifice la prelucrarea prin mortezare 1085
8.8.5. Stabilirea condiţiilor de lucru la mortezare 1086
8.8.6. Tipuri de prelucrări executate pe maşinile de mortezat 1087
8.9. Prelucrarea prin frezare 1087
8.9.1. Definire. Scheme de principiu 1087
8.9.2. Generarea suprafeţelor prin frezare.. 1088
8.9.3. Geometria sculelor aşchietoare.Tipuri de scule folosite la frezare 1089

8.9.5. Stabilirea condiţiilor dc lucru la frezare 1100
8.9.6. Tipuri dc prelucrări exccutate pe maşinile de frezat 1105
8.10. Prelucrarea prin burghiere, lărgire, adâncire, lamare, tarodare şi alezare 1107
8.10.1. Definire. Scheme de principiu 1107
8.10.2. Generarea suprafeţelor prin burghiere..................... 1109
8.10.3. Geometria sculclor aşchietoare. Tipuri de scule folosite la burghiere, lărgire, adâncire, alezare şi tarodare 1110
8.10.4. Maşini-unelte şi dispozitive specifice la prelucrarea prin burghiere, lărgire, adâncire, alezare şi tarodare..................... 1114
8.10.5. Stabilirea condiţiilor de lucru la burghiere, lărgire, adâncire, alezare şi tarodare 1121
8.10.6. Tipuri de prelucrări executate pe maşinile de găurit şi pe maşinile de alezat şi frezat orizontale 1126
8.11. Prelucrarea prin broşare 1127
8.11.1. Definire. Scheme de principiu 1127
8.11.2. Generarea suprafeţelor prin broşare 1128
8.11.3. Geometria sculelor aşchietoare.Tipuri de scule folosite la broşare..................... 1131
8.11.4. Maşini-unelte şi dispozitive specifice la prelucrarea prin broşare 1132
8.11.5. Stabilirea condiţiilor de lucru la broşare..................... 1135
8.11.6. Tipuri dc prelucrări executate pe maşinile de broşat..................... 1137
8.12. Prelucrarea prin rectificare 1137
8.12.1. Definire. Scheme de principiu 1137
8.12.2. Generarea suprafeţelor prin rectificare..................... 1138
8.12.3. Geometria sculelor aşchietoare. Tipuri de scule folosite la rectificare..................... 1145
8.12.4. Maşini-unelte şi dispozitive specifice folosite la prelucrarea prin rectificare.... 1146
8.12.5. Stabilirea condiţiilor de lucru la rectificare 1149
8.12.6. Tipuri de prelucrări executate pe maşinile de rectificat..................... 1154
8.13. Procedee de suprafinisare..................... 1155
8.13.1. Generalităţi 1155
8.13.2. Stninjirea fină..................... 1155
8.13.3. Lepuirea..................... 1156
8.13.4. Honuirea 1157
8.13.5. Superfinisarea..................... 1158
8.13.6. Lustruirea..................... 1159
8.13.7. Rodarea 1159
8.13.8. Superfinisarea în câmp ultrasonor..................... 1159
8.14. Prelucrarea pe maşini-unelte cu comandă numerică sau adaptivă şi pe maşini-unelte agregat . .. 1160
8.14.1. Prelucrarea pe maşini-unelte cu comandă numerică 1160
8.14.2. Prclucrarea pe maşini-unelte cu comandă adaptivă. 1165
8.14.3. Centre de prelucrare 1166
8.14.4. Maşini-unelte agregate, linii automate şi sisteme flexibile..................... 1167
8.15. Optimizarea procesului de aşchiere 1169
8.15.1. Consideraţii generale 1169
8.15.2. Stabilirea condiţiilor optime ale procesului de aşchiere 1170
8.16. Principiile generale de proiectare a proceselor tehnologice de prelucrare 1182
8.16.1. Datele iniţiale necesare proiectării proceselor tehnologice de prelucrare..................... 1182
8.16.2. Sinteza proceselor tehnologice 1183
8.16.3. Dimensionarea proceselor tehnologice 1196
8.16.4. Analiza proceselor tehnologice..................... 1205
8.16.5. Intocmirea documentaţiei tehnologice 1207

8 17.1. Caracteristici constructive şi condiţii tehnice impuse.. 1208
8.17.2. Alegerea materialului şi semifabricatelor pentru arbori.. 1209
8.17.3. Structura proceselor tehnologice de prelucrare a arborilor drepţi 1209
8.17.4. Particulurităţi ale prelucrării arborilor cotiţi 1215
8.17.5. Particularităţi ale prelucrării axelor cu came.. 1216
8.18 Tehnologia de prelucrare a pieselor din clasa „bucşe” 1124
8.18.1. Caracteristici constructive şi condiţii tehnice impuse.. 1224
8.18.2. Alegerea materialelor şi semifabricatelor 1224
8.18.3. Structura procesului tehnologie de prelucrarea pieselor din clasa „bucşe” 1225
8.19. Tehnologia de prelucrare a pieselor din clasa „corpuri complexe”.. 1234
8.19.1. Caracteristici constructive şi condiţii tehnice impuse.. 1234
8.19.2. Alegerea materialelor şi semifabricatelor 12.35
8.19.3. Structura procesului tehnologic de prelucrare a pieselor din clasa „corpuri complexe” 1236
8.20. Tehnologia de prelucrare a pieselor din clasa „roţi dinţate”. 1249
8.20.1. Caracteristici constructive şi condiţii telmice impuse 1249
8.20.2. Alegerea materialelor şi semifabricatelor 1250
8.20.3. Structura procesului tehnologic de prelucrare a pieselor din clasa „roţi dinţate”......... 1251
9 Prelucrarea materialelor prin microaşchiere
(prof. dr. ing. Gh. Amza, as. dr. ing. C. Amza).. 1265
9.1. Generalităţi 1265
9.2. Prelucrarea dimensională prin eroziune electrica (electroeroziunea). 1267
9.2.1. Schema de principiu... 1267
9.2.2. Mecanismul fizic al prelucrării dimensionale prin electroeroziune.............................. 1268
9.2.3. Utilaje folosite la prelucrarea prin electroeroziune 1271
9.2.4. Parametrii regimului de prelucrare.. 1274
9.2.5. Posibilităţile de utilizare a prelucrării prin electroeroziune 1276
9.2.6. Variante ale prelucrării prin electroeroziune. Prelucrarea prin electroeroziune cu electrod fir sau bandă... . 1278
9.3. Prelucrarea dimensională prin electrochimie 1279
9.3.1. Schema de principiu a procedeului 1279
9.3.2. Mecanismul fizic al prelucrării dimensionale prin electrochimie 1280
9.3.3. Utilaje folosite la prelucrarea dimensională prin electrochimie................................... 1283
9.3.4. Parametrii regimului de prelucrare....... 1285
9.3.5. Posibilităţile de utilizare a prelucrării dimensionale prin electrochimie....................... 1285
9.3.6. Variante ale prelucrării prin electrochimie. Prelucrarea prin eroziune chimică... 1287
9.4. Prelucrarea dimensională prin eroziune complexă (prelucrarea anodo-mecanică).................. 1288
9.4.1. Schema de principiu a procedeului 1288
9.4.2. Mecanismul fizic al prelucrării anodo-mecanice 1288
9.4.3. Utilajul folosit la prelucrarea dimensională prin eroziune complexă........................... 1289
9.4.4. Parametrii regimului de prelucrare.. 1290
9.4.5. Posibilităţile de utilizare a prelucrării dimensionale prin eroziune complexă 1290
9.5. Prelucrarea dimensională prin eroziune cu ultrasunete 1292
9.5.1. Schema de principiu a procedeului 1292
9.5.2. Mecanismul fizic al prelucrării dimensionale cu ultrasunete....................................... 1294
9.5.3. Utilaje folosite la prelucrarea dimensională cu ultrasunete 1295
9.5.4. Parametrii regimului de prelucrare dimensională cu ultrasunete 1297
9.5.5. Posibilităţile de utilizare ale prelucrării dimensionale cu ultrasunete........................... 1300
9.5.6. Variante ale prelucrării dimensionale cu ultrasunete. Intensificarea procedeelor clasice de prelucrare prin aşcliiere folosind energia ultrasonoră 1302
9.6. Prelucrarea dimensională cu plasmă 1306

9.6.1. Schema de principiu 1306
9.6.2. Mecanismul fizic la prelucrarea dimensională cu plasmă 1307
9.6.3. Utilaje folosite la prelucrarea dimensională cu plasmă 1308
9.6.4. Parametrii regimului de prelucrare dimensională cu plasmă 1310
9.6.5. Posibilităţile de utilizare a prelucrării dimensionale cu plasmă 1311
9.6.6. Variante ale prelucrării dimensionale cu plasmă. Prelucrarea cu microplasmă... 1312
9.7. Prelucrarea dimensională prin eroziune cu radiaţii 1312

9.7.1. Generalităţi 1312
9.7.2. Prelucrarea cu fascicul de electroni 1313
9.7.3. Prelucrarea dimensională prin eroziune cu fascicul de fotoni 1318
10. CIM- Computer integrated manufacturing
(as. dr. ing. C. Amza) 1329
10.1. Introducere 1329
10.2. Proiectare şi producţie asistată de calculator CAD/CAM 1333
10.2.1. Generalităţi 1333
10.2.2. Ciclul de producţie 1335
10.2.3. Automatizarea şi CAD/CAM 1337
10.2.4. Fundamentele CAD 1339
10.2.5 Producţia asistată de calculator-CAM 1361
10.3. Aplicaţie CAD/CAM 1383
10.3.1. Definiţie 1383
10.3.2. Principii de bază ale RP 1384
10.3.3. Avantajele şi dezavantajele RP 1385
10.3.4. Ciclul de producţie IU 1385
10.3.5. Implicaţiile RP 1387
10.3.6. Aplicaţii practice ale RP 1387
10.3.7. Tehnici de RP 1389
10.3.8. Viitorul tehnologiei dc RP 1403
10.4. Planificarea asistată de calculator 1404
10.4.1. Planificarea muncii pentru procesele de producţie convenţionale 1404
10.4.2. Programul de lucru pentru maşini cu CN...,........ 1405
10.4.3. Planificarea automatizată a proceselor de producţie 1407
10.5. Controlul calităţii asistate de calculator (CAQ) 1408
10.5.1. Metode de inspecţie cu contact 1410
10.5.2. Metode de inspecţie fară contact 1411
10.5.3. Testare asistată de calculator (CAT) 1415
10.5.4. Integrarea CAQ cu CAD/CAM 1415
10.6. Planificarea şi controlul producţiei 1416
10.6.1. PP&C tradiţional 1416
10.6.2. Planificarea şi controlul producţiei asistate de calculator. 1419
10.7. Viitorul C1M/CAD/CAM 1421
11.Obţinerea pieselor prin tăiere
(conf. dr. ing. V. Rîndaşu, prof. dr. ing. Gh. Amza) 1423
11.1. Generalităţi 1423
11.2. Clasificarea procedeelor de tăiere 1423
11.3. Tăierea termică 1424
11.3.1. Tăierea cu flăcăra 1425
11.3.2. Tăierea cu arc electric 1428
11.3.3. Tăierea cu plasmă 1429
11.3.4. Tăierea cu laser. 1432
11.3.5. Tăierea cu fascicul de electroni 1433

11.4. Debavurarea termică 1435

11.5. Tăierea cu jet de apă. 1436
11.6. Norme specifice de protecţia muncii 1438

12. Degradarea materialelor şi protecţia contra degradării
(conf. dr. ing V. Rindaşu). 1441
12 1. Generalităţi. 1441
12.2. Degradarea materialelor metalice 1442
12.2.1. Clasificarea formelor de coroziune 1442
12.2.2. Alte procese de degradare 1463
12.3. Degradarea materialelor nemetalice 1464
12.3.1. Degradarea materialelor plastice 1464
12.3.2. Degradarea materialelor compozite cu matrice organică 1465
12.3.3. Degradarea bcloanclor 1465
12.3.4. Degradarea calcarelor 1466
12 4. Protecţia materialelor împotriva degradării. 1466
12.4.1. Tratamente de suprafaţă 1467
12.4.2. Protecţia elcctrochimică 1471
12.4.3. Tratarea mediului 1474
12.4.4. Alegerea metodei optime de protecţie anticorozivă. 1477
12.5. Proiectarea formei pieselor 1478
13.Recondiţionarea şi reciclarea
(conf. dr. ing. V. Rindaşu) 1481
13.1. Generalităţi 1481
13.2. Mentenanţa 1483
13.3. Repararea. Tehnologii dc reparare 1487
13.4. Recondiţionarea 1496
13.5. Proiectarea pentru reciclare 1504
13.6. Recuperarea materialelor degradate. Protecţia mediului 1507
14. Controlul produselor în construcţia de maşini şi de aparate
(conf. dr. ing. V. Rindaşu) 1510
14.1. Generalităţi 1510
14.2. Tipuri de procese de control în construcţia de maşini şi aparate 1513
14.2.1. Criterii de clasificare 1513
14.2.2. Controlul iniţial (la recepţie) 1516

14.2.3. Controlul pe fluxul de fabricaţie 1516
14.2.4. Controlul final 1516
14.2.5. Controlul integral 1517
14.2.6. Controlul statistic 1517
14.3. Asigurarea calităţii 1518
14.3.1. Asigurarea calităţii în proiectare 1519
14.3.2. Asigurarea calităţii în aprovizionare 1522
14.3.3. Asigurarea calităţii în producţie 1523
14.3.4. Asigurarea calităţii în testare/încercări finale 1524
14.3.5. Asigurarea calităţii în activităţile post producţie 1524
14.4. Metode de inspectare a produselor materiale (hardware) 1527
14.4.1. Metode de inspectare distructivă 1527
14.4.2! Metode de inspectare nedistructivă 1530
14.4.3.Inspectarea automata 1531

14.5. Metode de inspectare a produselor cu suport material (software) 1532
14.6. Metode de inspectare a serviciilor 1533
14.7. Stabilirea tehnologiei de control 1537

14.7.3. Alegerea metodei de inspectare 1539
14.7.4. Intocmirea procedurilor de control 1539
14.7.5. Intocmirea planului calităţii. 1540
14.7.6. Utilizarea, supravegherea şi gestionarea mijloacelor de control........ 1540
14.8. Tendinţe şi perspective în controlul produselor 1541

14.8.1. Fiabilitatea previzională........ 1541
14.8.2. Evaluarea rapidă 1543
15. Tehnologii ecologice
(conf. dr. ing. V. Rîndaşu, prof. dr. ing. Gh. Amza)........ 1545
15.1. Dezvoltarea durabilă 1545
15.2. Eficienţa utilizării materialelor 1549
15.3. Marcajul ecologic........ 1551
15.4. Tehnologii ecologice 1552
15.5. Consumul durabil........ 1558
15.6. Auditul de mediu........ 1563
Bibliografic 1565
Contens........ 1571



OBȚINEREA PIESELOR PRIN TURNARE

3.1. GENERALITĂȚI

Turnarea, ca metodă tehnologică este una din cele mai vechi metode de obținere a pieselor prin punere în formă, dezvoltate de om. Turnarea intervine întotdeauna ca metodă tehnologică distinctă la materialele care sunt elaborate în stare lichidă sau vâscoasă. Împreună cu prelucrările prin matrițare şi cu cele de formare prin sinterizare sunt utilizate în mod nemijlocit la realizarea formei pieselor spre deosebire de alte prelucrări, unde forma rezultă prin mijlocirea unor procedee tehnologice preliminare distincte (laminare, tragere, forjare liberă, aşchiere şi microaşchiere).

Prin turnare se pot realiza forme practic nelimitate, piese cu mase diverse, de la fracțiuni de gram şi până la sute de tone, care îşi găsesc utilizări în toate domeniile de activitate.

Procedeele de execuție a pieselor prin turnare se remarcă prin următoarele avantaje:

- permit realizarea de piese cu configurații diverse, în clasele de precizie 6...16, cu suprafețe de rugozitate: R_a = 1,6...200 µm;
- permit realizarea de piese cu proprietăți diferite în secțiune (unimaterial sau polimaterial);
- creează posibilitatea obținerii de adaosuri de prelucrare minime (față de forjarea liberă sau prelucrările prin aşchiere);
- creează posibilitatea de automatizare complexă a procesului tehnologic, fapt ce permite repetabilitatea preciziei şi a caracteristicilor mecanice, la toate loturile de piese de acelaşi tip;

- permit obținerea unei structuri uniforme a materialului piesei, fapt ce îi conferă acesteia o rezistență multidirecțională. În general, compactitatea, structura şi rezistența mecanică a pieselor turnate sunt inferioare pieselor similare realizate prin deformare plastică (deoarece acestea posedă o rezistență unidirecțională, după direcții preferențiale).

Dintre dezavantajele procedeelor de realizare a pieselor prin turnare se pot enumera:

- consum mare de manoperă, îndeosebi la turnarea în forme temporare;
- costuri ridicate pentru materialele auxiliare;
- consum mare de energie pentru elaborarea şi menținerea materialelor în stare lichidă la temperatura de turnare;
- necesită măsuri eficiente contra poluării mediului şi pentru îmbunătățirea condițiilor de muncă.

Se pot prelucra prin turnare materiale metalice şi nemetalice, în producție de serie mare sau de unicate. Materialele metalice cele mai des prelucrate prin turnare se prezintă comparativ în figura 3.1, astfel:

- în țara noastră: fontele 85% (73% cu grafit lamelar, 7% maleabile, 5% cu grafit nodular), oțelul 8%, neferoasele 7% (alame, bronzuri, aliaje de Al, aliaje de Mg, etc.);
- în Statele Unite: fonte 77% (55% cu grafit lamelar, 7% maleabile, 15% cu grafit nodular), oțel 15%, aliaje neferoase 7%.

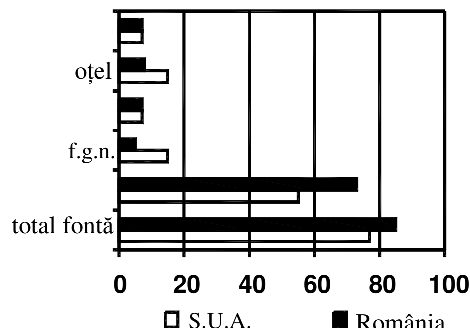


Fig. 3.1. Ponderea principalelor materiale metalice turnate în piese şi lingouri.

Gama materialelor nemetalice este mult mai diversă, principalul material turnat oriunde în lume este betonul (material compus din granule de nisip şi pietriş legate cu ciment, utilizat cel mai frecvent sub formă de matrice a materialului compozit cunoscut sub denumirea de beton armat, armătura fiind constituită din oțel beton), pus în operă, exclusiv prin turnare (intermitentă sau continuă), şi utilizat în construcții civile, industriale, hidrotehnice, agrozootehnice, militare, infrastructură pentru transporturi etc. Urmează apoi cauciucul (anvelope, garnituri, furtunuri, benzi transportoare etc.), masele plastice (produse industriale şi bunuri de larg consum), sticla, ceramica tehnică, bazaltul, răşinile şi altele.

De menționat că, prin turnare se pot realiza atât piese/semifabricate dintr-un material unic sau din cel puțin două materiale (acoperiri prin turnare statică sau centrifugală, utilizarea turnării cu inserții, obținerea prin turnare a mate-

rialelor compozite etc.).

Tendința actuală este de a se eficientiza procesele de producție prin reducerea adaosurilor de prelucrare şi a operațiilor de prelucrare dimensională ulterioare. Din acest motiv, procedeele de punere în formă, între care şi turnarea, capătă o atenție deosebită, cunoscând un grad mai ridicat de perfecționare şi inovare față de alte procedee.

În funcție de domeniul de aplicare al procedeului de turnare (tehnologii mecanice, metalurgice, de mecanică fină, de tehnică dentară, de prelucrări din indus-tria chimică, de construcții etc.), pot exista *denumiri specifice*, care sunt sinonime.

Principalele denumiri cu care se operează se prezintă în continuare.

Amestecul de formare este materialul din care se realizează interiorul formei de turnare (la turnarea în forme temporare), fiind compus din două elemente: un material granulat, care are rolul de a se modela după configurația modelului şi de a umple rama de formare, şi un liant, care conferă rezistență şi stabilitate formei de turnare, permițând ulterior dezbaterea formei pentru extragerea piesei. Amestecul de formare trebuie să aibă o bună refractaritate, pentru a rezista la contactul cu topitura, precum şi o granulație corespunzătoare, pentru a asigura etanşeitate pereților cavității formei. Sinonime: *masă de ambalat* (în tehnica dentară).

Forma de turnare este scula specifică procedeului tehnologic de turnare, care conține cavitatea de turnare, rețeaua de turnare şi canalele de evacuare a gazelor. Cu ajutorul ei se realizează configurația, gabaritul şi calitatea suprafeței piesei. Sinonime: *cochilă, matriță de injecție* (la turnarea în forme permanente, turnarea sub presiune); *cofraje* - realizează şi poziționarea şi susținerea elementelor din structura unei construcții; *tipare* - servesc la realizarea elementelor prefabricate din beton, în şantier sau industrial; tot tipare sunt denumite şi formele de turnare din tehnica dentară.

Formarea este denumirea generică a operațiilor prin care se realizează forma de turnare; acest termen se referă numai la realizarea formelor temporare şi semipermanente, confecționate din amestecuri de formare. Formele permanente, de tipul matrițelor şi a cochilelor se realizează prin turnare sau forjare, urmate de prelucrări mecanice, tratamente termice şi de suprafață. Sinonime: *ambalarea* (în tehnica dentară).

Extragerea piesei denumeşte operația de scoatere a piesei solidificate din forma de turnare. Sinonime: *dezbaterea* - desemnează operația de distrugere a formei temporare şi a miezurilor din piesă; *decofrarea* - în tehnica construcțiilor; *dezambalarea* - în tehnica dentară.

Miezul este o parte distinctă a formei de turnare, cu ajutorul căruia se obțin golurile interioare ale pieselor turnate. Miezurile pot fi permanente (la turnarea în matrițe sau cochile) sau temporare (la turnarea în cochile sau în forme temporare). Formarea miezurilor se face cu ajutorul cutiilor de miez.

Modelul de turnătorie este o machetă tridimensională care reproduce aproape identic piesa, mărită corespunzător în funcție de caracteristica de contracție la solidificare a materialului piesei şi serveşte în operațiile de formare. Sinonime: *macheta* - model fuzibil sau volatil, utilizat în tehnica dentară (modelul utilizat în tehnica dentară are o altă semnificație: el desemnează negativul amprentei, servind la realizarea machetei).

Mulajul este un model intermediar (negativul formei piesei reale); serveşte la realizarea modelului de turnătorie (pozitivul formei piesei). Sinonime: *amprenta* (în tehnica dentară).

Rețeaua de turnare este partea tehnologică a cavității formei de turnare, care conține: pâlnia de turnare, totalitatea canalelor de conducere a materialului lichid spre cavitatea piesei, precum şi maselotele. Pentru formarea rețelei de turnare se utilizează modele corespunzătoare.

Turnabilitatea este proprietatea tehnologică a unui material ce defineşte capacitatea acestuia de a căpăta după solidificare configurația geometrică şi dimensiunile unei forme geometrice în care se introduce în stare lichidă sau lichido - vâscoasă. Este o proprietate tehnologică complexă, care determină posibilitățile unui material de a fi prelucrat prin turnare; ea este influențată de mărimi fizice precum: fuzibilitatea, fluiditatea, contracția de solidificare etc. Sinonime: *lucrabilitatea* (în tehnologia construcțiilor).

Turnarea este denumirea generică a unei grupe de procedee tehnologice de realizare a pieselor semifabricat şi/ sau finite, care folosesc materiale în stare lichidă sau lichido-vâscoasă, cu care sunt umplute cavitățile unei forme speciale; piesa se obține în urma solidificării materialului.

Sub denumirea de turnare, majoritatea autorilor includ şi procesele de realizare a sculelor specifice, în special pentru procedeele de turnare în forme temporare, precum şi prelucrările de: extragere, finisare şi tratamente aplicate pieselor solidificate (acestea pot fi considerate şi drept procese separate, de pregătire a turnării, respectiv post-turnare).

O consecință importantă a acestei definiții este cuprinderea în grupa procedeelor de turnare şi a altor procedee care utilizează materiale în stare vâscoasă, dar care nu conțin explicit în denumire particula „turnare”, din care cauză ele au fost incluse în mod tradițional în alte grupe. În funcție de viscozitate se deosebesc două stări pentru materiale:

- starea *lichido-vâscoasă* – apropiată prin proprietăți de starea lichidă;
- starea *vâsco-plastică* – apropiată de starea solidă.

Ținând cont de aceste comportări, rezultă următoarele grupări:

- procedeele de prelucrare prin punere în formă, care utilizează materiale în stare lichidă sau lichido-vâscoasă, la care piesa se obține în urma solidificării materialului în cavitatea formei şi care se numesc procedee de prelucrare prin turnare;
- procedeele de prelucrare prin punere în formă, care utilizează materiale în

stare plastică sau vâsco-plastică, la care piesa se obține în urma deformării plastice şi se numesc procedee de prelucrare prin deformare plastică.

3.2. BAZELE TEORETICE ALE TURNĂRII. PARTICULARITĂȚILE SOLIDIFICĂRII MATERIALELOR TURNATE ÎN PIESE

3.2.1. Noțiuni generale despre solidificarea pieselor turnate

Proprietățile fizice cele mai importante ale materialelor în stare lichidă, de care depinde calitatea procesului de turnare, sunt viscozitatea şi tensiunea superficială.

Viscozitatea exprimă frecarea dintre straturile interioare ale unui lichid care se deplasează cu viteze diferite. Ea este proprietatea fizică determinantă pentru viteza de curgere a topiturii şi, implicit, defineşte capacitatea materialului de a umple toate volumele cavității formei de turnare, precum şi posibilitatea separării incluziunilor din masa piesei turnate (ambele procese sunt favorizate de valori mici ale viscozității). Viscozitatea influențează şi caracterul curgerii (laminar sau turbulent) materialului lichid în interiorul formei de turnare. Pentru o umplere uşoară a formei este preferat regimul turbulent, dar o turbulență excesivă poate cauza deteriorarea pereților formei (la formele temporare sau la celelalte, când se folosesc rețele de turnare temporare) şi, implicit, generarea de incluziuni în piesă. Viscozitatea depinde de gradul de mobilitate al particulelor din topitură (astfel, ea variază în funcție de compoziția chimică a topiturii, de exemplu, aliajele eutectice au viscozitatea minimă datorită unei mobilități mai ridicate a particulelor elementare) şi de temperatură (viscozitatea scade cu creşterea temperaturii topiturii). O altă posibilitate de scădere a viscozității materialului de turnat este creşterea presiunii la care se desfăşoară procesul tehnologic (turnarea cu suprapresiune).

Tensiunea superficială exprimă comportarea unui lichid la interfața cu un alt mediu, luând în considerare energia superficială. Datorită acesteia, topiturile tind să îşi micşoreze suprafața liberă, corespunzător unei energii minime. De această proprietate fizică depind procesele de elaborare şi de turnare a materialelor, precum şi fenomenele de coagulare, segregație şi de adsorbție a gazelor. Tensiunea superficială oferă posibilitatea separării materialului piesei în raport cu materialul formei de turnare (fără ca materialul piesei să pătrundă în porii materialului formei), precum şi modul de umplere a cavității formei. Pentru valori ridicate ale tensiunii superficiale se obține o separație bună, dar cu un grad redus de umplere a formei (de exemplu în cazul turnării la presiuni joase unde, pentru a se preîntâmpina acest fenomen, se poate recurge, după caz, fie la proiectarea corespunzătoare a formei piesei şi a rețelei de turnare, şi/sau alegerea judicioasă a procedeului de turnare, cu sau fără suprapresiune). Proiectarea formei piesei turnate

trebuie să țină seama de mărimea tensiunii superficiale a materialului aflat în stare lichidă sau lichido-vâscoasă, astfel încât să se realizeze umplerea completă a cavității formei (din această cauză există prescripții care limitează grosimea minimă a peretelui piesei, precum şi diametrul minim al canalelor rețelei de turnare). De tensiunea superficială depinde şi rugozitatea suprafeței piesei turnate.

De modul în care se desfăşoară procesul de solidificare depinde nivelul calitativ al piesei realizate prin turnare, atât în ceea ce priveşte structura, cât şi apariția defectelor specifice. Drept parametri care influențează solidificarea pot fi considerați: materialul de turnat, forma de turnare, forma piesei, condițiile de turnare, viteza de solidificare.

La topirea materialelor cristaline (metale şi aliaje) se consumă o cantitate de energie, sub forma căldurii de topire, pentru mărirea oscilațiilor termice a atomilor şi asigurarea mobilității acestora în volumul cavității formei. Caracteristica distinctivă principală a stării lichide a materialelor cristaline este lipsa forțelor de orientare, care în cazul solidelor mențin atomii în poziții medii de echilibru bine determinate.

La temperatura de turnare ($\theta_{tur}=\theta_{top}$ + 50…100°C) metalele şi aliajele păstrează parțial structura cristalină, în ceea ce priveşte ordinea apropiată de distribuție a atomilor, structura lichidă conținând zone cu cristale mici, legate între ele prin zone amorfe (atomi ieşiți din câmpul forțelor de orientare). Prin supraîncălzire, metalele şi aliajele devin în întregime amorfe. La temperatura de turnare, viscozitatea metalului lichid este de circa 1,5 − 3 ori mai mare decât a apei, iar tensiunea superficială este de circa 5 − 15 ori mai ridicată decât a apei (acest fapt face posibilă turnarea în forme din amestec de formare pe bază de nisip cuarțos, metalul lichid neputând pătrunde în porii formei de turnare).

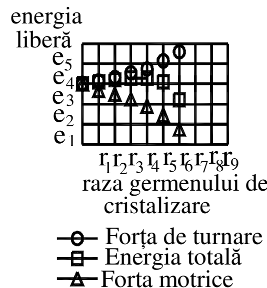


Fig. 3.2. Variația energiei libere la formarea germenilor de fază nouă.

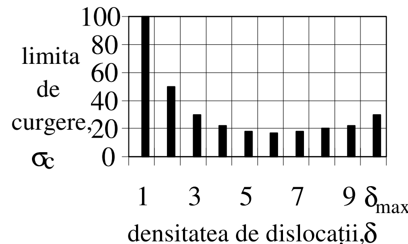


Fig. 3.3. Variația limitei de curgere în funcție de densitatea dislocațiilor.

În timpul solidificării se produce modificarea aranjamentului atomic, prin realizarea ordinii îndepărtate a rețelei cristaline. Procesul de solidificare implică două etape: *germinarea* şi *creşterea*. Prin germinare se formează nucleele de cristalizare, la răcirea materialului sub temperatura de solidificare, energia liberă a

atomilor scade, ea fiind asociată interfețelor solid/lichid. Pe măsură ce are loc procesul de separare a solidului din lichid crește energia liberă a suprafeței (fig.3.2).

Calitatea procesului de cristalizare primară influențează hotărâtor proprietățile mecanice ale piesei turnate. În această etapă, se pot îmbunătăți proprietățile, fie pe cale directă, prin modificarea densității de dislocații (micşorare sau mărire), conform figurii 3.3, fie pe cale indirectă, prin dirijarea procesului de solidificare (astfel se pot realiza structuri amorfe, monocristale orientate sau structuri fine şi compacte - după cum este condus procesul).

Un procedeu larg utilizat la turnarea metalelor şi aliajelor (pentru obținerea unei structuri compacte, care limitează deplasarea dislocațiilor) constă în introducerea de modificatori în topitură, care să mărească numărul germenilor de cristalizare (ca modificatori se folosesc elemente chimice cu o afinitate mai mare față de oxigen decât elementele aliajului). De exemplu, în cazul fontelor şi oțelurilor ca modificatori se introduc calciul, magneziul, aluminiul, ceriul, titanul şi altele.

Vibrarea băii de material topit, cu o anumită frecvență, în scopul măririi numărului de germeni de cristalizare prin sfărâmarea cristalelor columnare şi limitarea creşterii acestora, este un procedeu modern, aplicabil pentru diverse materiale. Prin vibrare se poate obține şi evacuarea gazelor din piesa aflată în curs de solidificare.

3.2.2. Influența parametrilor de turnare asupra solidificării

Natura materialului piesei. Experimental s-a constatat că aliajele cu căldura specifică şi cu căldura latentă de solidificare mari, dar cu o conductibilitate termică redusă, se răcesc mai lent, față de celelalte, care au conductibilitatea termică mai ridicată.

Forma de turnare. Viteza de răcire a piesei depinde în primul rând de capacitatea formei de turnare de a acumula şi evacua căldura. Astfel, dacă forma de turnare se încălzeşte mai puțin, gradientul de temperatură dintre formă şi piesă este mai mare, iar viteza de solidificare a piesei creşte (fig.3.4).

În figura 3.5 este prezentat exemplul unui lingou de oțel carbon (0,45% C) de $\varnothing 200 \times 200$ mm turnat într-o formă mixtă din amestec de formare şi fontă. Se observă, din pozițiile diferite ale izotermelor, modul diferențiat de răcire a piesei, în funcție de natura materialului din care este confecționată cavitatea de turnare.În timpul elaborării aliajul lichid înmagazinează o cantitate de căldură

$$Q = m \cdot c_s \cdot (\theta_{top} - \theta_0) + m \cdot \lambda_t + m \cdot c_l \cdot (\theta_{tur} - \theta_{top}) \quad [J], \qquad (3.1)$$

unde m este masa aliajului topit, în [kg]; c_s - căldura masică a aliajului în stare solidă, în [J/kg·grd]; c_l - căldura masică a aliajului în stare lichidă, în [J/kg·grd];

λ_t - căldura latentă masică de topire, în [J/kg]; θ_{top} - temperatura de topire, în [°C]; θ_0 - temperatura mediului ambiant, în [°C]; θ_{tur} - temperatura de tunare, în [°C].

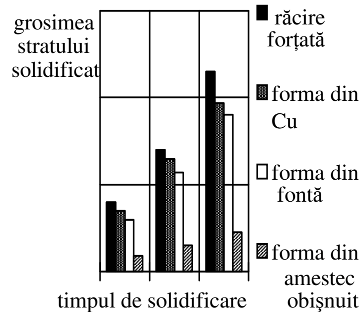


Fig. 3.4. Dependența vitezei de răcire a materialului piesei de natura formei de turnare.

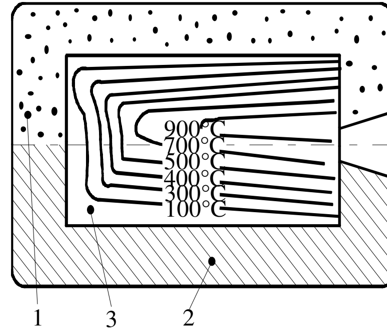


Fig. 3.5. Solidificarea într-o formă de turnare mixtă: 1 - semiformă temporară; 2 - semiformă permanentă; 3 - lingou.

Termenii relației (3.1) reprezintă, în ordine, cantitățile de căldură necesare încălzirii, topirii şi supraîncălzirii.

În timpul răcirii, trecerea căldurii de la topitură la pereții formei se face în mai multe etape:

- formarea unui gradient de temperatură în piesă, pornind de la axa termică spre suprafețele de contact cu forma de turnare şi cu atmosfera;
- transferul căldurii între suprafața piesei şi cea a formei;
- formarea unui gradient de temperatură în forma de turnare, pornind de la interfața de contact cu topitura (peretele interior) spre peretele exterior, aflat în contact cu atmosfera, şi acumularea unei cantități de căldură în materialul formei;
- transferul căldurii între peretele exterior al formei de turnare şi mediul înconjurător (solul turnătoriei sau atmosfera).

În cazul formelor permanente, se poate reduce viteza de răcire fie prin acoperirea cavității formei cu un material refractar, fie prin menținerea acestora într-un mediu termic controlat. În cazul formelor din material refractar, pentru accelerarea locală a solidificării, sau pentru a controla procesul de cristalizare, se pot prevedea răcitori, amplasați corespunzător.

Forma piesei. Viteza de răcire a piesei turnate este direct proporțională cu mărimea suprafeței relative de răcire a piesei (raportul dintre suprafața şi volumul piesei) şi invers proporțională cu grosimea peretelui piesei.

Condițiile de turnare. Viteza de răcire a piesei depinde de temperatura de turnare a materialului piesei şi deci de modul de ajungere şi menținere a acestuia la temperatura de turnare. *Viteza de solidificare* este viteza de deplasare

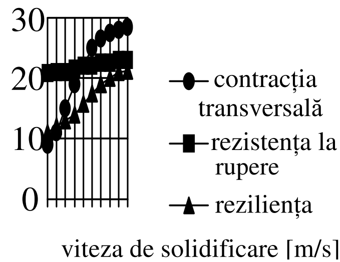


Fig. 3.6. Variația proprietăților mecanice ale materialului piesei turnate în funcție de mărimea vitezei de solidificare.

a frontului de cristalizare. La început, după umplerea formei, viteza de solidificare este foarte mare, însă, pe măsură ce se încălzeşte forma, gradientul de temperatură scade, şi din această cauză, în structura piesei obținute pot apare trei zone de solidificare distincte: una interioară – complet lichidă, o alta intermediară bi– fazică, şi una exterioară – complet solidă.

3.2.3. Particularitățile procesului de solidificare

În funcție de natura materialelor din care se confecționează piesele turnate există o serie de particularități specifice ale procesului de solidificare.

Metalele pure: solidificarea are loc cu formarea la exterior a unei cruste; frontul de solidificare este plan; macrostructura pieselor turnate din metale pure este columnară (fig.3.7).

Aliajele: solidificarea începe cu formarea la exterior a unei zone cu cristale fine, datorită gradientului de temperatură ridicat, urmată spre interiorul piesei de o zonă dendritică şi de una cu cristale mari echiaxiale, în centrul piesei (fig.3.8).

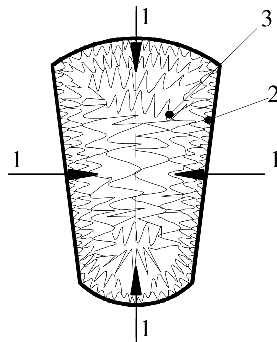


Fig. 3.7. Solidificarea metalelor pure: 1 - propagarea frontului de solidificare; 2 - crustă exterioară; 3 - cristale columnare.

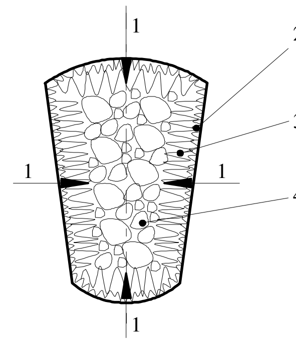


Fig. 3.8. Solidificarea aliajelor: 1 - propagarea frontului de solidificare; 2 - cristale fine în crusta exterioară; 3 - cristale dendritice columnare; 4 - cristale echiaxiale mari.

Materialele compozite metalice: prezența armăturii, ca fază dispersă în matricea aflată în curs de solidificare, influențează apariția şi creşterea fazei solide,

prin:

- modificarea condițiilor de germinare (omogenă şi eterogenă);
- schimbarea proprietăților termice ale materialului;
- frânarea mişcării convective;
- limitarea fizică a spațiului de dezvoltare a grăunților cristalini.

Armătura, şi în special cea sub formă de fibre, limitează alimentarea cu aliaj lichid a microcavităților generate de contracția la solidificare, cauzând apariția porozităților (de aceea se recomandă folosirea unei solidificări dirijate, unidirecționale).

3.3. PROPRIETĂȚILE DE TURNARE ALE MATERIALELOR

3.3.1. Proprietățile de turnare ale metalelor şi aliajelor

Turnabilitatea este proprietatea tehnologică globală, care reflectă comportarea materialelor în raport cu procedeele tehnologice din grupa turnării. Turnabilitatea este o mărime relativă, apreciată comparativ, pe tipuri de materiale. Ea este exprimată prin calificative: foarte bună, bună, satisfăcătoare, slabă, necorespunzătoare.

Turnabilitatea materialelor metalice depinde implicit de proprietățile fizico-chimice care influențează turnarea materialului. Ea poate fi îmbunătățită prin alegerea judicioasă a procedeului de turnare şi a parametrilor procesului tehnologic de turnare (calitatea formei de turnare, regimul de lucru etc.).

Proprietățile fizice care influențează turnarea materialului sunt:

- *fuzibilitatea* este proprietatea materialului de a trece în stare topită. Cantitativ, ea este exprimată prin temperatura de topire, specifică fiecărui material în parte. Această proprietate interesează în cazul turnării la cald.

- *fluiditatea* este proprietatea materialului aflat în stare lichidă/vâscoasă de a curge şi umple toate detaliile cavității formei de turnare. Fluiditatea depinde de elementele implicate în procesul de turnare (tab.3.1).

După cum se poate remarca, fluiditatea unui aliaj dat poate fi îmbunătățită prin adaptarea corespunzătoare a elementelor variabile ale procesului de turnare (natura materialului, forma de turnare şi tehnologia de lucru).

- *contracția* este proprietatea materialului metalic de a-şi micşora volumul în timpul solidificării (majoritatea materialelor au o densitate mai mare în stare solidă decât în stare lichidă). Datorită contracției, în piesele turnate se pot forma goluri de contracție, numite *retasuri.* O altă consecință a contracției este apariția tensiunilor interne la piesele cu secțiuni variabile, care duc la deformarea sau la fisurarea piesei.

Tabelul 3.1. *Factorii de influență a fluidității*

Elementele procesului	Caracteristicile fizice	Fluiditatea crește pentru:
Materialul topit	Viscozitatea	Scăzută
	Tensiunea superficială	
	Conductibilitatea termică	
	Căldura latentă de solidificare	Ridicată
	Mărimea intervalului de solidificare	Mic
	Gradul de impurificare	Redus
Forma de turnare	Conductibilitatea termică	Redusă
	Calitatea suprafețelor	Bună
Tehnologia de turnare	Temperatura de turnare	Ridicată
	Viteza de turnare	

Valorile contracției liniare *k*, date în tabelul 3.2, servesc la determinarea dimensiunilor modelului d_m, pornind de la dimensiunile corespondente ale piesei d_p, conform relației (3.2)

$$d_m = d_p\left(1 + \frac{k}{100}\right) \quad [\text{mm}]; \qquad (3.2)$$

- *segregarea* este separarea constituenților unui amestec eterogen, astfel încât distribuția acestora nu mai este uniformă; ea se manifestă prin neomogenitatea compoziției aliajului la solidificare, în diferitele zone ale piesei turnate, putând să apară segregații zonale (macrosegregații) şi segregații dendritice (microsegregații).

Tabelul 3.2. *Valorile contracției liniare k, pentru aliajele turnate uzuale*

Aliajul	*k* [%]	Aliajul	*k* [%]	Aliajul	*k* [%]
Fontă cenuşie	1,00	Oțel manganos	2,50	Al-Cu	1,25
Fontă maleabilă	1,50	Oțel silicios	1,88	Si-Al	1,00
Fontă grafit nodular	1,25	Bronz Sn	1,25	Aliaje Mg	1,25
Oțel carbon	2,00	Bronz Al	1,50	Aliaje Zn	1,50

Tendință mai mare de segregare au aliajele care sunt constituite din componenți cu densități mult diferite. Pentru a preîntâmpina apariția segregațiilor se pot folosi procedee speciale de turnare, cum ar fi: turnarea centrifugală, vibrarea formei de turnare, răcirea rapidă în intervalul de solidificare, urmată de o răcire lentă, pentru eliminarea tensiunilor interne, sau de aplicarea unui tratament termic de recoacere de omogenizare;

- *absorbția gazelor* exprimă proprietatea topiturilor de a dizolva gaze. Gradul de absorbție creşte o dată cu mărirea fluidității aliajului. Gazele înglobate în topitură, dacă nu sunt eliminate la timp, pot produce la solidificare goluri în materialul piesei, numite *sufluri.*

Între proprietățile de turnare şi defectele pieselor turnate există o strânsă legătură, de aceea, pentru prevenirea apariției defectelor trebuie avute în vedere, în primul rând, îmbunătățirea acestor proprietăți, adică a turnabilității materialului (aceasta se poate realiza printr-o alegere judicioasă a procedeului şi a tehnologiei de turnare).

3.3.2. Determinarea practică a proprietăților de turnare

Determinarea fluidității. Ca măsură a fluidității se foloseşte lungimea parcursă de topitură printr-un canal de secțiune standardizată, executat din amestec de formare sau din fontă (vezi Capitolul 2). Turnarea probelor comparative trebuie făcută în aceleaşi condiții de temperatură şi de viteză de umplere (tab.3.3).

Tabelul 3.3. *Metode de determinare a fluidității aliajelor*

Metoda	Proba	Zona măsurată	Utilizări
Canalului cu secțiune descrescătoare (măsurarea secțiunii)	Pană	Grosimea vârfului penei	Aliaje cu tensiune superficială mare
	Sferică	Diametrul sferei	Oțeluri, fonte
	Spirală	Spirala	Neferoase
Canalului cu secțiune constantă (măsurarea lungimii)	Dreapta	Lungimea probei	Neferoase uşoare
	În "U"	Ramura ascendentă	Oțeluri
	Harfă	Înălțimea	Pentru corelațiile: fluiditate-grosime şi structură-viteză de răcire

Analitic, fluiditatea f_0 poate fi exprimată în raport cu parametrii procesului de turnare, astfel

$$f_0 = \frac{v \times c \times \gamma \cdot \left[\left(\theta_t - \theta_0\right) + \lambda\right]}{\alpha_1 \cdot \left(\theta_m - \theta_f\right)} \quad [\text{mm}], \qquad (3.3)$$

unde: v este viteza medie de curgere topiturii la umplerea formei; c - căldura specifică a materialului de turnat; γ - greutatea specifică a materialului de turnat; θ_t - temperatura de turnare a materialului; θ_0 - temperatura corespunzătoare fluidității nule a materialului; θ_m - temperatura medie a materialului; θ_f - temperatura medie a formei de turnare; α_1 - coeficientul de transmitere a căldurii; λ - căldura latentă de solidificare.

Deoarece determinarea tuturor termenilor relației de mai sus este dificilă, în practică se preferă compararea probelor de fluiditate prin măsurarea lungimii parcurse de topitură. Ca metode de laborator sunt utilizate:

Determinarea contracției (în stare lichidă sau la solidificare: volumică, liniară). Se face prin punerea în evidență a variației volumului specific al materialului aflat în stare topită, în funcție de temperatură. Pe durata răcirii topiturii, de la temperatura de turnare până la cea ambiantă, pot fi evidențiate trei stadii distincte:

- răcirea până la temperatura lichidus;
- cristalizarea topiturii, până la temperatura solidus;
- răcirea aliajului solidificat, până la temperatura ambiantă.

Contracția volumică totală ε_{vt}, pe cele trei stadii, se poate determina cu relația

$$\varepsilon_{vt} = \varepsilon_l + \varepsilon_{l-s} \pm \varepsilon_{eut} + \varepsilon_s, \tag{3.4}$$

unde: ε_l este contracția volumică în stare lichidă

$$\varepsilon_l = \alpha_l(\theta_t - \theta_l)\ ; \tag{3.5}$$

ε_{l-s} - contracția volumică pe intervalul de solidificare

$$\varepsilon_{l-s} = \alpha_{l-s}(\theta_l - \theta_s)\ ; \tag{3.6}$$

ε_{eut} - contracția volumică la temperatura eutectică

$$\varepsilon_{eut} = \alpha_{eut}\ \ ; \tag{3.7}$$

ε_s - contracția volumică în stare solidă

$$\varepsilon_s = \alpha_s(\theta_{eut} - \theta_0)\ \ ; \tag{3.8}$$

α_l - coeficientul de contracție volumică în stare lichidă; α_{l-s} - coeficientul de contracție volumică pe intervalul de solidificare; α_{eut} - coeficientul de contracție (dilatare) volumică, la temperatura de transformare eutectică; α_s - coeficientul de contracție volumică în stare solidă; θ_t, θ_l, θ_s, θ_{eut}, θ_0 - temperaturile corespunzătoare, respectiv: t - de turnare; l - lichidus; s - solidus; eut - eutectică; 0 - ambiantă. Experimental, contracția volumică totală se determină cu relația

$$\varepsilon_{vt} = \frac{V_{cf} - V_p}{V_{cf}} \times 100 \quad [\%] \tag{3.9}$$

unde V_{cf} este volumul cavității formei de turnare; V_p - volumul piesei turnate, la temperatura ambiantă (θ_0).

Determinarea viscozității se poate face prin punerea în evidență a frecării existente între straturile de lichid aflate în mişcare relativă

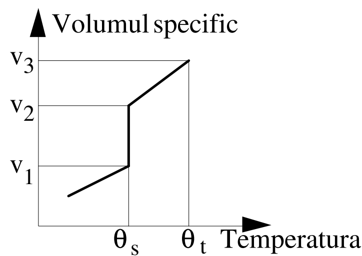


Fig. 3.9. Variația volumului specific cu temperatura aliajului.

$$F = \eta \times S \frac{dv}{dr} \quad [N] \qquad (3.10)$$

unde F este forța de frecare dintre straturile de lichid, aflate în mişcare relativă; η - este viscozitatea dinamică (Poise). Între aceasta şi cea cinematică ν, există relația $\nu = \eta/\gamma$ [Stokes]; S - suprafața de contact; dv - diferența de viteză dintre straturi; dr - distanța dintre straturi.

Pentru determinarea viscozității se folosesc metode staționare (metoda curgerii prin capilar, a corpului căzător, a corpului rotitor, a corpului oscilant) şi metode nestaționare (Mayer-Svidkovski).

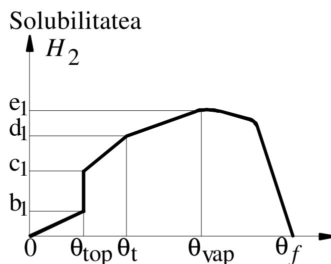


Fig. 3.10 Solubilitatea H_2 în aliaje: θ_{top} - temperatura de topire; θ_t - tem-peratura de turnare; θ_f - temperatura de fierbere; θ_{vap} -temperatura corespunzătoare tensiunii de vapori maxime.

Determinarea tensiunii superficiale se poate face prin:

- metoda presiunii maxime în bula de gaz;
- metoda picăturii pe placă;
- metoda Pohl-Schell.

Cea mai utilizată metodă este cea a bulei de gaz, în care, printr-un tub capilar din oțel se insuflă un gaz inert (față de aliajul studiat) în topitură. Pentru ca bulele de gaz astfel formate să atingă suprafața este nevoie ca presiunea internă a gazului să învingă tensiunea superficială a topiturii, astfel

$$p_{\max} = 2\sigma/r, \qquad (3.11)$$

unde: σ este tensiunea superficială; r - raza la interiorul tubului capilar; p_{max} - presiunea maximă a gazului din bulă.

Determinarea tendinței de degajare a gazelor. Prezența gazelor în piesele turnate afectează grav caracteristicile de rezistență şi de etanşeitate. Gazele se pot găsi sub următoarele forme:

- sufluri (defecte de turnare, sub formă de goluri în materialul piesei);
- strat adsorbit;
- soluție şi combinații chimice.

Din figura 3.10 se observă că solubilitatea în stare lichidă este maximă la θ_{vap}.

Pentru determinarea tendinței de degajare a gazelor, precum şi a cantității

de gaze conținute în aliajele turnate, se pot utiliza metode de solidificare în vid, care realizează degazarea aliajului topit (determinarea se poate face fie în raport cu aspectul probei solidificate, fie cu presiunile parțiale ale gazelor din incintă).

3.3.3. Proprietățile de turnare ale materialelor nemetalice

În general exprimarea proprietăților de turnare este aceeaşi şi pentru materialele nemetalice, deoarece turnabilitatea defineşte comportarea materialului (cristalin sau amorf, simplu sau compus) în raport cu procedeele de prelucrare prin turnare.

Experimental se constată că valorile acestor proprietăți sunt diferite, ceea ce conduce la utilizarea unor procedee şi tehnologii de turnare specifice.

În cazul turnării betoanelor, constructorii operează cu noțiunea de lucrabilitate, care exprimă aptitudinea betonului de a umple cofrajele sau tiparele şi de a îngloba armăturile bine şi uşor, sub efectul unui mijloc de compactare, cu o cheltuială minimă de energie şi de forță de muncă, precum şi aptitudinea de a conserva omogenitatea amestecului în timpul transportului, manipulării şi punerii în operă.

Pentru comparație, se prezintă doar valorile contracției liniare pentru câteva din cele mai des utilizate materiale nemetalice turnate (tab.3.4).

Tabelul 3.4. *Valorile contracției liniare pentru unele materiale nemetalice*

Materialul	*k* [%]	Materialul	*k* [%]
Termoplaste:		Termorigide:	
1. Acetat	2,0-2,5	1. Fenolice	0,1-0,9
2. Acril	0,3-0,8	2. Melamină	0,8-1,2
3. ABS	0,3-0,8	3. Alchidice	0,5-1,0
4. Polietilenă joasă densitate înaltă densitate	1,3-3,5 2,0-4,0	4. Poliester	max 0,7
5. Polipropilenă	1,0-2,5	5. Epoxidice	0,1-1,0
6. PVC rigidă suplu	0,1-0,5 0,8-3,0	6. Siliconice	max 0,5
7. Polistiren	0,2-0,6	Cauciuc	max 0,8
8. Polioximetilenă	2,0	Sticlă	max 1,5
9. Poliamidă	0,7-2,0	Ceramică	max 1
10. Policarbonat	0,5-0,7	Bazalt	max 1,5
11. Polisulfonă	0,7	Beton	max 2
12. Nylon	0,3-1,5		

3.4. PRINCIPIUL OBȚINERII UNEI PIESE PRIN TURNARE

3.4.1. Generalități privind obținerea unei piese prin turnare

Cea mai simplă formă de turnare se realizează din amestec de formare şi se utilizează pentru o unică utilizare (formă temporară). Obținerea unei piese prin turnare se poate face (fig.3.11):

- plecând de la o piesă reală, pe baza mulajului;
- plecând de la o piesă virtuală, pe baza desenului de execuție.

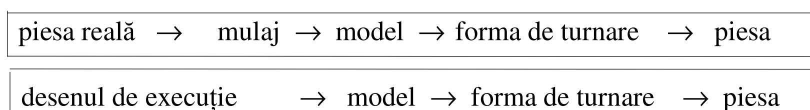


Fig. 3.11. Moduri de obținere a unei piese prin turnare.

Obținerea piesei după mulaj se aplică în cazul producției de unicate, în cazul pieselor cu configurație complexă (inclusiv în tehnica dentară), în cazul realizării pieselor de schimb şi când nu se dispune de un atelier de modelărie specializat. În acest caz, piesele sau semifabricatele turnate se obțin prin solidificarea materialului (aflat inițial în stare lichidă sau lichido-vâscoasă), cu care au fost umplute cavitățile formei de turnare. Umplerea cavității formei se poate face prin curgere liberă (la presiune atmosferică), sub acțiunea forței gravitaționale (în cazul pieselor cu pereți groşi, cu configurație simplă, din materiale cu turnabilitate bună şi foarte bună); sub acțiunea şi a altor forțe, precum forța centrifugă; sau cu suprapresiune (pentru piesele cu pereți subțiri şi configurație complexă, din materiale cu turnabilitate bună sau satisfăcătoare). Piesele realizate copiază configurația cavității formei de turnare. Ceea ce se obține prin solidificarea materialului în interiorul formei de turnare este, pe de o parte, piesa, iar, pe de altă parte, modelul rețelei de turnare şi al maselotelor materializate la umplerea formei. Această ultimă parte se detaşează şi se recuperează prin retopire.

Solidificarea piesei în formă poate fi:

- *completă* - când sunt utilizate forme temporare sau semipermanente, la care răcirea se face lent;

- *parțială* - până la formarea unei cruste exterioare portante (la utilizarea formelor permanente, când răcirea se face rapid); extragerea piesei din formă se face astfel mai devreme când se folosesc formele permanente, pentru a se preântâmpina apariția retasurilor.

Forma de turnare este *scula specifică pentru turnare.* Ea conține sau asigură:

- la interior:
  - cavitatea în care se generează piesa;
  - miezurile;
  - cavitățile în care se sprijină miezurile, numite mărci;
  - cavitățile prin care este alimentată cavitatea de turnare cu materialul lichid, care alcătuiesc rețeaua de turnare şi maselotele;
  - canalele de evacuare a gazelor;
- la exterior:
  - partea de susținere;
  - partea de centrare şi poziționare;
  - partea de închidere/deschidere a formei

3.4.2. Principiul de obținere a pieselor prin turnare

Pentru realizarea piesei 1 (fig.3.12), prevăzută cu golul interior 2, se utilizează un model demontabil după planul de separație (*x-x*), alcătuit din semimodelul superior 3, asamblat cu cel inferior 4. Modelul este prevăzut cu marca 5, destinată rezemării miezului 6 în cavitatea formei. Cu ajutorul modelului piesei se execută cavitatea de generare a piesei 7, iar cu ajutorul modelului rețelei de turnare se execută cavitatea tehnologică, alcătuită din pâlnia de turnare 12, piciorul

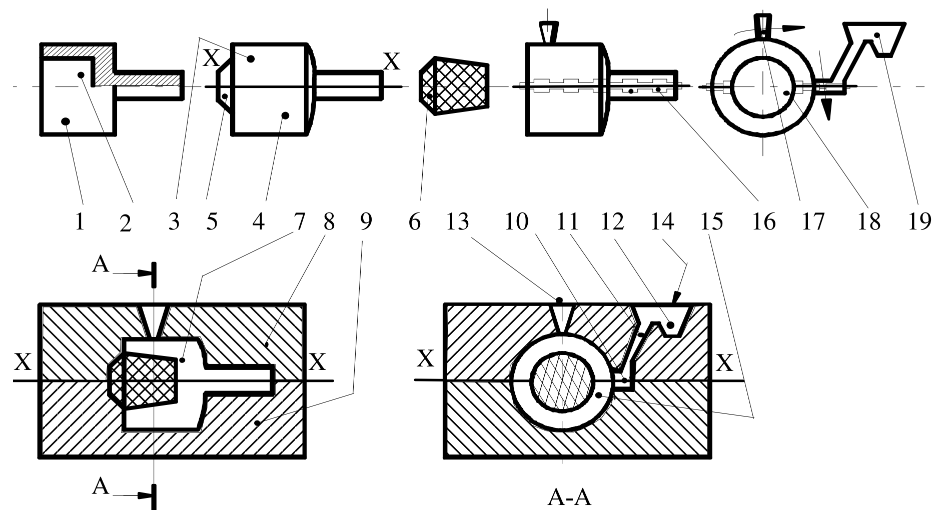


Fig. 3.12. Principiul obținerii unei piese prin turnare:
1 - piesa; 2 - gol interior; 3 - semimodel superior; 4 - semimodel inferior; 5 - marcă; 6 - miez; 7 - cavitatea generatoare a piesei; 8 - semiforma superioară; 9 - semiforma inferioară; 10 - cavitatea canalului de alimentare; 11 - cavitatea piciorului pâlniei; 12 - cavitatea pâlniei de turnare; 13 - cavitatea maselotei; 14 - admisia aliajului topit; 15 - cavitatea formei; 16 - bavură; 17 - maselota; 18 - piesa solidificată; 19 - rețeaua de turnare.

pâlniei 11, canalul de alimentare 10, maselota (uneori răsuflătoarea) 13. Ambele cavităţi 17 şi 19 întregesc cavitatea formei 15, conţinută atât în semiforma inferioară 8, cât şi în cea superioară 9.

În cavitatea formei se toarnă metalul sau aliajul topit 14 care va umple cavitatea formei şi va ieşi prin răsuflătoarea 13. Volumul de material conţinut aici va contribui la compensarea volumului pierdut prin contracţia de solidificare a piesei. Piesa solidificată 18, extrasă din formă, înglobează şi elementele reţelei de turnare 17, 19, precum şi o bavură 16 în planul de separaţie (*x*-*x*). Aceste surplusuri de material se îndepărtează prin tăiere, fiind ulterior retopite şi reintroduse în circuitul productiv.

3.5. PREGĂTIREA MATERIALELOR ÎN VEDEREA TURNĂRII

Pentru a putea fi turnate în piese, materialele trebuie aduse la starea lichidă sau lichido-vâscoasă, care să asigure o umplere corectă a cavităţii de turnare şi o structură corespunzătoare a piesei. Această stare se obţine prin încălzire şi topire până la temperatura de turnare, în instalaţii speciale numite cuptoare metalurgice.

3.5.1. Pregătirea materialelor metalice în vederea turnării

Materialele metalice se toarnă întotdeauna la cald. Datorită acestui fapt utilajele de topire şi de alimentare a formelor trebuie să asigure următoarele condiţii minime:

- încărcare şi descărcare/curăţire uşoară;
- topirea aliajului sau, după caz, şi elaborarea aliajului;
- menţinerea topiturii la temperatura de turnare optimă;
- menţinerea caracteristicilor fizico-chimice ale aliajului topit;
- posibilitatea efectuării de tratamente metalurgice;
- capacitatea şi viteza de lucru suficiente pentru alimentarea formelor de turnare;
- posibilitatea de reglare continuă a temperaturii şi compoziţiei topiturii;
- pierderi minime prin oxidare.

Pregătirea materialelor metalice în vederea turnării implică mai multe etape distincte:

- *elaborarea* constă în topirea şi aducerea materialului de turnat la compoziţia chimică prescrisă; această ultimă etapă este necesară, deoarece, pe de o parte, piesele turnate pot avea compoziţii chimice diferite faţă de cele ale produselor metalurgice uzuale destinate turnării în piese, iar, pe de altă parte, în procesul topirii pot apare modificări ale compoziţiei chimice ca urmare a oxidării;

- *supraîncălzirea* constă în ridicarea temperaturii aliajului aflat deja în stare

topită, în scopul măririi fluidității, precum şi al evacuării gazelor şi separării incluziunilor nemetalice;

- *menținerea* constă în păstrarea aliajului în stare lichidă (la temperatura de turnare), până la turnarea sa în forme (adesea, se preferă crearea unei rezerve tampon de material lichid, în scopul asigurării continuității procesului tehnologic);

- *modificarea* constă în tratarea specială a topiturii, în forma sau oala de turnare, cu scopul obținerii unei anumite structuri a aliajului la solidificare.

La rândul său, *elaborarea poate cuprinde* mai multe etape distincte:

- *ajustarea* constă în compensarea deteriorărilor care apar de la o şarjă la alta în zona căptuşelii refractare a cuptorului (se face prin curățirea cavităților create şi umplerea lor cu un amestec de magnetită, dolomită şi zgură); ajustarea se poate face manual sau mecanic;

- *încărcarea* constă în aşezarea şi aranjarea materiilor prime în cuptor, după anumite reguli, specifice procesului tehnologic ales (de modul de încărcare depinde starea băii de metal topit); de obicei, durata de încărcare a cuptorului ocupă circa 1/3 din durata de elaborare a unei şarje;

- *topirea* constă în trecerea încărcăturii în stare lichidă; trebuie avut în vedere că, în paralel, au loc procese de oxidare a aliajului şi de formare a zgurei, precum şi de trecere a gazelor din atmosfera cuptorului în topitură; din această cauză, sunt preferate utilajele care lucrează cu viteze mari de încălzire; tehnologiile folosite pentru topire pot prevedea, de asemenea, încălzirea cuptorului simultan cu încărcarea acestuia;

- *afinarea* este un proces metalurgic de eliminare totală sau numai parțială din aliajul metalic a unor elemente chimice însoțitoare, care nu sunt considerate utile (impurități), prin: oxidarea din topitură, reducerea oxizilor metalului de bază cu ajutorul unor dezoxidanți (care au afinitate mai mare față de O_2 decât metalul de bază), separarea şi evacuarea din topitură a oxizilor formați odată cu impuritățile şi cu dezoxidanții;

- *rafinarea* este un proces metalurgic de separare a unui metal şi de creştere a purității acestuia şi se foloseşte la extragerea şi elaborarea metalelor pure sau a aliajelor. Ca metode de rafinare se utilizează: flotația (licuația), rafinarea termică şi cea electrolitică, distilarea în vid etc. Afinarea este un caz particular de rafinare, care utilizează oxigenul;

- *fierberea* se face cu scopul agitării băii metalice, pentru accelerarea reacțiilor chimice, şi evacuării gazelor din topitură;

- *alierea* se face după ce au fost înlăturate impuritățile, în scopul atingerii compoziției chimice dorite (alierea se poate face în cuptor sau în oala de turnare).

Pentru elaborarea şi menținerea materialelor în stare topită sunt utilizate cuptoare; ele se fabrică într-o paletă largă de capacități, de la 25 [kg/şarjă] la 100 [t/şarjă], adaptate diverselor tipuri de turnătorii (piese de serie, unicate, piese de schimb, piese grele). O clasificare a cuptoarelor şi a materialelor prime necesare elaborării este prezentată succint în tabelele 3.5 –3.9.

Tabelul 3.5. *Clasificarea cuptoarelor de elaborare a fontelor pentru turnare*

Denumirea	Tipul	Caracteristici	Încărcătura	Destinaţie	Observaţii
0	1	2	3	4	5
Cubilouri Fig.2.95	Cu cocs, Cu cocs şi gaz metan, Cu combustibil lichid	Cuptor înalt, cu vatră, funcţionare continuă, în contracurent	Fontă brută şi veche, fier vechi, feroaliaje, fondanţi, combustibil	Elaborarea fontelor, posibilităţi de afinare	1,5-20 [t/h], pornire greoaie
Cuptoare cu inducţie	Cu creuzet Fig.2.102	Randament superior cubiloului,	Fier vechi, şpan de fontă şi oţel, deşeuri, surse de carbon,	Elaborarea fontelor, compoziţie omogenă, uşor controlabilă,	0,8-12 [t/h], eliminarea gazelor şi a incluziunilor nemetalice, supraîncalzire şi menţinere
	Cu canal Fig.3.13	funcţionare intermitentă	CaC_2 pentru desulfurare	defecte reduse la turnare	
Cuptoare cu arc	Cu trei electrozi Fig.2.101	Randament ridicat	Mai ieftină	Topire rapidă	10-50[t]
Cuptoare cu flacără - inclusiv Siemens-Martin	Rotative <10[t] Cu vatră fixă >10[t]	Randament scăzut, calitate mai bună decât la cubilou	–	–	Înlocuite de cuptoarele cu inducţie
Procedee duplex	Cubilou-cuptor inducţie cu canal	Rezervă de fontă pentru turnări dese	–	Compoziţie controlată	Supraîncalzire şi menţinere
	Cubilou-cuptor inducţie cu creuzet	Turnări de piese cu pereţi subţiri	–	Fonte maleabile sau modificate	Supraîncălzire mare
	Cubilou- cuptor cu arc	Pentru turnări de piese grele	–	Fonte speciale	–
	Cuptor inducţie cu creuzet-canal	Funcţionare de noapte (tarif redus)	Materii prime foarte bune, încărcătura metalică nesortată	Calitate ridicată a fontei	Menţinerea fontei lichide
	Cuptor arc-cuptor inducţie cu canal				Turnătorii cu grad ridicat de mecanizare
	Furnal-cuptor inducţie	Pentru turnări de piese grele		Necesită desulfurare avansată	În incinta combinatelor siderurgice

Dacă la începuturile producţiei de piese turnate, acestea erau realizate din fonte de primă fuziune (elaborată în furnal prin reducerea minereurilor de fier), în prezent este utilizată exclusiv fonta de a doua fuziune, elaborată în turnătorii.

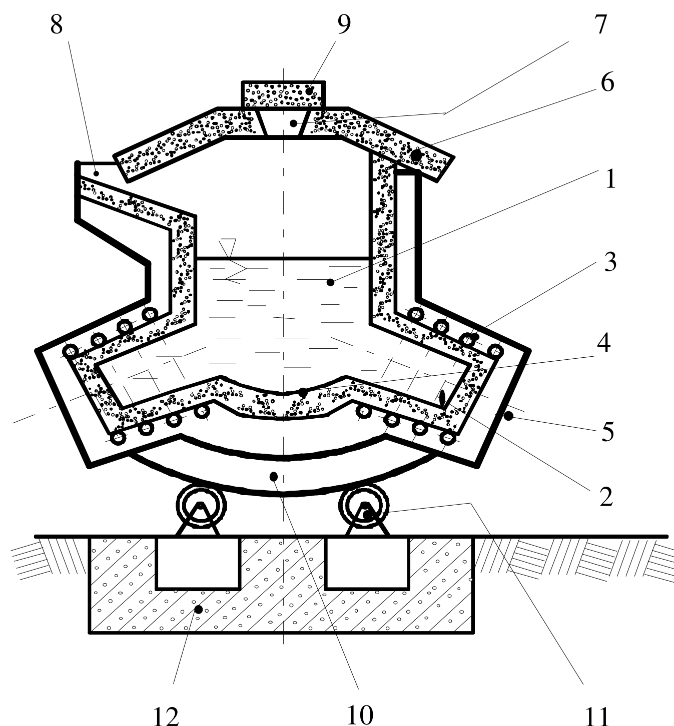


Fig. 3.13 Construcția cuptorului cu inducție cu canal:
1 - aliajul topit; 2 - canal; 3 - inductor; 4 - vatră; 5 - manta metalică; 6 - boltă; 7 - gură de încărcare; 8 - gură de evacuare; 9 - capac; 10 - cale de rulare; 11 - role de basculare; 12 - fundație.

Tabelul 3.6. *Materii prime pentru elaborarea fontelor de turnătorie*

Denumirea	Simbolizarea	Compoziția [%]	Utilizări	Observații
1	2	3	4	5
Fonta de furnal pentru turnătorie	FK1...6 (% Si: 0,75...3,75)	C: 3,5...4,5; Mn: 0,2...2; P: 0,05...0,7; S: 0,02...0,07;	10-50% din încărcătura cubiloului; tendința de reducere a utilizării lor datorită costului ridicat	Prezintă: separări de grafit, gaze, incluziuni
Fonta specială pentru turnătorie	FX0...5 (% Si: 0,15...3)	P: 0,08...0,2; S: 0,01...0,05	–	–
Fonta aliată pentru turnătorie	FS FOg; FSOg	Si min.9%; Mn 10-25%; min. 9% Si; 18% Mn	Ca adaosuri pentru corectarea compoziției încărcăturii	–
Fonta de afinare	FAK0...2 (% Si: 0,75...1,75)	Mn: 0,5...3,5	Ca înlocuitor pentru FK în cubilouri (15-25%)	Mai economicoasă decât FK și FX

Tabelul 3.6. (*continuare*)

1	2	3	4	5
Deşeuri de fontă		Diversă	20-60%	
Deşeuri de oţel		Diversă	0-70%	T_{top} ridicată
Feroaliaje	FeCr; FeSi; FeMn; FeTi; FeW; FeMo		Corectarea compoziţiei	T_{top} ridicată
Fondanţi	Calcar metalurgic, Fluorină	CaO; MgO:min.50%; CaF_2: 80%	Formarea zgurei Mărirea fluidităţii	–
Combustibil	Cocs de turnătorie, Gaz metan	C: 75...90%; CH_4	Topire şi carburare	Reactivitate scăzută

Tabelul 3.7. *Clasificarea cuptoarelor de elaborare a oţelurilor pentru turnare*

Denumirea	Tipul	Caracteristici	Încărcătura	Destinaţie	Observaţii
1	2	3	4	5	6
Cuptor cu rezistenţă	Fig.3.14	Rezervă de oţel lichid	Oţel topit, dez-oxidanţi, feroaliaje	Menţinerea oţelului topit	Consum ridicat
Cuptor cu arc	Cu trei electrozi	Elaborare rapidă, generează zgomot şi noxe, căptuşeală acidă sau bazică	Fier vechi, deşeuri, fontă, dezoxidanţi, feroaliaje	Oţeluri aliate, posibilitatea de afinare, desulfurare	1,5-24 [t/h] Turnarea pieselor mari şi grele
	Cu creuzet, în vid Fig.3.15	Topire cu electrod consumabil, sub zgură	Retopirea lingourilor	Aliaje înalt rafinate	Turnarea pieselor şi lingourilor
Cuptor cu inducţie	În vid	Căptuşeală acidă, oxidare scăzută, agitare bună a băii, incluziuni reduse, control bun al temperaturii, pierderi de Si şi Mn	Încărcătura precis aleasă şi cântărită, deoarece nu se poate face afinarea, alierea cu feroaliaje	Oţeluri înalt aliate speciale, conţinut redus de: O_2, H_2, N_2	0,05-6,7[t/h] 0,08-0,5[t/h]
	Cu creuzet			Oţeluri înalt aliate speciale	–
Cuptor cu fascicol de electroni	–	Cuptoare speciale, experimentale, nestandardizate	Retopirea lingourilor	Oţeluri înalt aliate, speciale	Turnări speciale, aliaje pretenţioase
Cuptor cu plasmă					

La începuturile producţiei de piese turnate din oţel, elaborarea oţelurilor în vederea turnării se făcea exclusiv în cuptoare cu vatră tip Siemens-Martin şi în convertizoare Bessemer. Astăzi, aceste procedee au o utilizare restrânsă, numai în turnătoriile de piese grele, de pe lângă oţelării, integrate de regulă marilor combinate siderurgice.

Elaborarea aliajelor neferoase de turnătorie trebuie să respecte următoarele reguli generale:

Tabelul 3.8. *Materii prime pentru elaborarea oțelurilor de turnătorie*

Denumirea	Simbolizarea	Compoziția [%]	Utilizări	Observații
Deşeuri de otel	Sortare conform STAS 6058-78	Diversă	Materie primă	De evitat resturile de: Sn, Bi, Zn, Cu, Pb
Fontă de afinare	FAK0...2 (% Si: 0,75...1,75)	Mn: 0,5...3,5	Materie primă	Pentru îmbogățirea în Mn se adaugă Fc oglindă
Minereu de Fe	–	> 90% Fe_2O_3	Oxidant	Max. 7% SiO_2
Minereu de Mn	–	> 70% MnO	Oxidant	–
Feroaliaje	–	FeMn, FeSi, SiMn	Dezoxidant, elemente de aliere	–
Calcar metalurgic	–	$CaCO_3$	Fondant	–

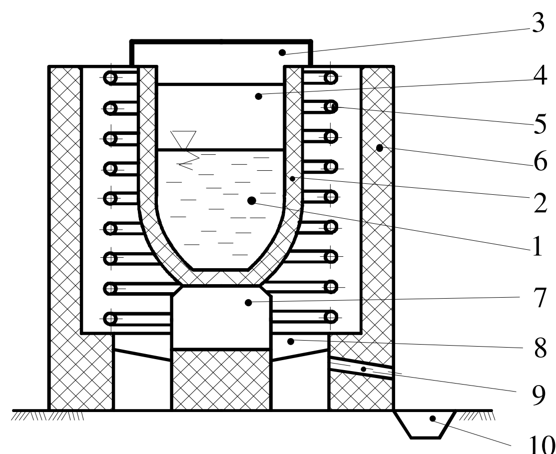


Fig. 3.14. Construcția cuptorului cu rezistență:
1 - aliajul topit; 2 - creuzet; 3 - capac; 4 - gura de încărcare; 5 - rezistențe; 6 - izolație;
7 - postament; 8 - jgheab de golire; 9 - canal de golire; 10 - colector.

- topirea rapidă, evitându-se supraîncălzirea aliajului topit;
- evitarea umidității în zona de elaborare (scule, căptuşeli refractare, creuzete, încărcătură);
- evitarea mişcărilor inutile la suprafața băii;
- reducerea parcursului prin aer al jetului de metal topit, la golirea cuptorului şi la umplerea formelor.

În procesul de elaborare în vederea turnării se pot folosi:

- aliaje turnate în lingouri;
- metale pure turnate în lingouri (Al - STAS 7607-80; Bi - STAS 8906-76; Cd - STAS 8615-76; Cr - STAS 7386-75; Cu - STAS 270-8; Mg - STAS 10273-75; Mn - STAS 7387-81; Ni - STAS 10502-76; Pb - STAS 663-76; Si - STAS 9675-80; Sn - STAS 10309-75; Sb - STAS 10262-75; Zn - STAS 646-76),

destinate turnătoriilor mari, care îşi elaborează singure aliajele, sau direct la realizarea topiturilor pentru turnare, în cazul turnătoriilor mici;

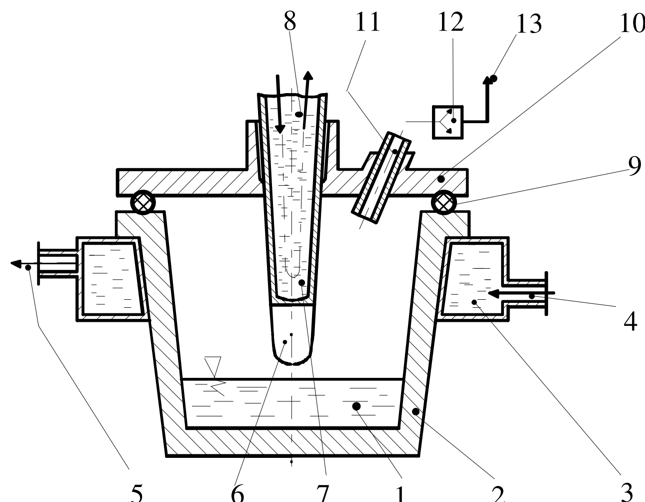


Fig. 3.15. Construcția cuptorului cu arc în vid cu creuzet:
1 - aliajul topit; 2 - creuzet; 3 - instalație de răcire; 4 - admisie apă; 5 - evacuare apă; 6 - electrod neconsumabil (W); 7 - port-electrod; 8 - circuit de răcire; 9 - etanşare; 10 - capac; 11 - conductă de evacuare; 12 - pompă de vid; 13 - coş de evacuare.

- prealiaje destinate elaborării aliajelor:
- pe bază de metale uşor fuzibile (Al, Mg, Zn) cu metale greu fuzibile (Ni, Fe, Mn, Ti, Zr), caz în care se evită supraîncălzirea topiturii;

Tabelul 3.9. *Clasificarea cuptoarelor de elaborare a aliajelor neferoase pentru turnare*

Denumirea	Tipul	Caracteristici	Încărcătura	Destinație	Observații
Cuptor cu flacără şi creuzet	fixe fig.3.16		–	–	Golire manuală
	basculante	până la 1 000 kg			
	rotative				
Cuptor cu rezistență	cu creuzet, fixe	până la 700 kg	Elaborată anterior, transferată topită	De aşteptare	Golire manuală
	cu vatră, basculante	Până la 1 200 kg			
Cuptor cu inducție	cu canal	până la 5 t	–	–	–
	în vid				
Cuptor cu electroni	în vid	–	–	Topirea Ti şi aliaje	–
Cuptoare cu plasmă					
Cuptoare cu arc					

- cu compoziție precisă, limitând pierderile prin oxidare sau volatilizare;
- deşeuri metalice şi material recirculat din turnătorie;
- fondanți având următoarele destinații:
- pentru acoperirea băii metalice, în scopul izolării de interacțiunea cu atmosfera (fluxuri);
- pentru rafinarea aliajului topit;
- modificatori, pentru realizarea unei structuri cristaline omogene şi compacte.

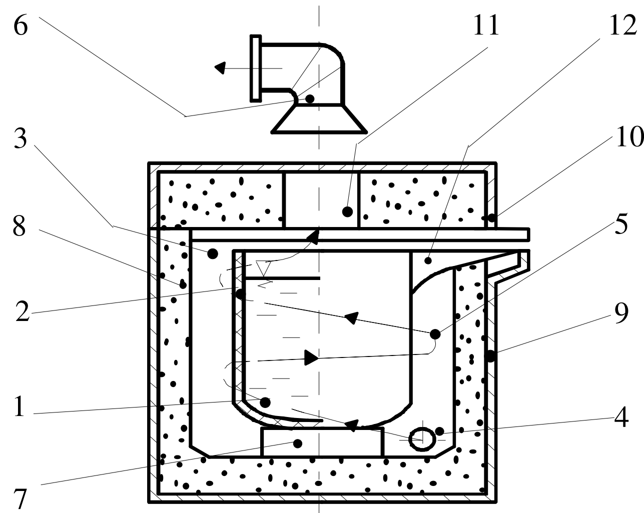


Fig. 3.16. Construcția cuptorului cu flacără şi cu creuzet:
1 - aliajul topit; 2 - creuzet; 3 - cuvă; 4 - admisia flăcării; 5 - traseul gazelor; 6 - hotă de evacuare; 7 - suportul creuzetului; 8 - căptuşeala refractară; 9 - manta metalică; 10 - capac; 11 - gura de încărcare; 12 - gura de evacuare.

3.5.2. Elaborarea materialelor compozite metalice în vederea turnării

Compozitele metalice sunt acele materiale compozite, la care matricea este metalică, armătura putând fi metalică sau nemetalică. Punerea în formă presupune topirea materialului matricei, în cazul producerii materialelor compozite metalice cu matrice lichidă.

Realizarea prin turnare a materialelor compozite este o tehnică relativ simplă, ieftină şi accesibilă.

Pentru aducerea în contact a armăturii solide cu matricea lichidă sau semisolidă trebuie învinse forțele de tensiune superficială, de viscozitate şi cele arhimedice. Din această cauză, ca şi pentru a se realiza o amestecare bună a componentelor sunt utilizate următoarele procedee:

- agitarea mecanică a topiturii;
- pulverizarea materialului solid pulverulent în topitură prin intermediul unui gaz purtător inert;
- înglobarea particulelor solide în jetul de topitură la turnarea în formă;
- înglobarea materialului solid, sub formă de brichete sau pelete în topitură, şi agitarea mecanică ulterioară a acesteia;
- dispersarea fazei solide în masa topiturii în câmp ultrasonor;
- dispersarea fazei solide în masa topiturii în câmp electromagnetic;
- dispersarea fazei solide în masa topiturii centrifugal;
- producerea dispersiei în masa topiturii pe cale chimică.

3.5.3. Elaborarea materialelor nemetalice în vederea turnării

După temperatura de proces se disting două categorii de materiale nemetalice:

- *turnate la cald* (sticla, bazaltul, ceramicele turnate, cauciucul, masele plastice, materialele compozite cu matricea din materiale turnate la cald);

- *turnate la rece* (betoanele, materialele compozite cu matricea din răşini).

Elaborarea materialelor nemetalice în vederea turnării cuprinde mai multe etape caracteristice, şi anume:

- granularea şi sortarea componentelor prin măcinare şi cernere;
- dozarea componentelor;
- amestecarea;

La aceste etape se pot adăuga încălzirea sau topirea, după caz, pentru aceelerarea reacțiilor chimice (această etapă poate însă lipsi în cazul materialelor turnate la rece).

În cazul elaborării materialelor din mai multe componente, se pune problema evitării segregării. Aceasta se face prin amestecarea cât mai omogenă, prin menținerea omogenității materialului pe durata transportului, a alimentării formei şi a solidificării acesteia.

3.5.3.1. Elaborarea betonului

Ca volum de material turnat, betonul este, oriunde în lume, pe primul loc. În componența betonului pot intra:

- cimentul;
- agregatele - materiale granulare naturale: nisip (0..7 mm); pietriş (7...70 mm); bolovani de râu (71...160 mm); balast (amestec de nisip cu pietriş) sau artificiale: nisip de concasaj; piatră spartă; criblură. Spre deosebire de agregatele naturale, cele artificiale au muchii ascuțite şi rugozitate mare.
- apă de amestecare (este preferată apa potabilă, care nu are resturi organice, sau industriale, şi care are o reacție neutră);

- aditivi (plastifianți, acceleratori de priză şi de întărire, întârzietori de priză, antigeli, impermeabilizatori).

3.5.3.2. Elaborarea maselor plastice în vederea turnării

Masele plastice au o structură amorfă. Ele pot fi: *termoplaste* (devin plastice la încălzire, iar la răcire îşi mențin forma luată, fără a suferi transformări chimice, formarea este reversibilă) sau *termorigide* (devin plastice prin încălzire, îşi mențin forma luată, suferă transformări chimice astfel încât formarea este ireversibilă). În alcătuirea maselor plastice intră:

- materialul de constituție (granule sau fibre naturale sau sintetice; trebuie să fie omogen, rezistent la umiditate, uşor impregnabil cu liant);
- liantul (răşini de polimerizare sau de policondensare, termoplaste sau termorigide - ele dau numele masei plastice respective);
-plastifiantul (îmbunătățeşte elasticitatea şi fluiditatea, mărind prelucrabilitatea masei plastice);
- coloranții;
- lubrifiantul (facilitează prelucrarea, împiedicând lipirea de scule);
- stabilizatorii (limitează degradarea masei plastice la prelucrare şi prin îmbătrânire);
- fungicidele, insecticidele (protejează masa plastică față de acțiunea ciupercilor şi insectelor);
- materialele auxiliare (conferă anumite proprietăți secundare).

3.5.3.3. Elaborarea materialelor ceramice în vederea turnării

Prin material ceramic se înțelege orice material solid, anorganic, nemetalic, care este obținut şi/sau utilizat la temperaturi înalte. Din punct de vedere istoric, se face distincție între:

- *ceramica de primă generație* (tradițională): porțelan, gresie, faianță, teracotă, şamotă - cu utilizări la: scule abrazive, materiale refractare, materiale de construcții, articole sanitare, articole decorative;
- *ceramica de a doua generație* (tehnică avansată fină), dintre utilizările acesteia se pot enumera: plachete de siliciu, materiale piezoceramice şi magnetoceramice, izolatori, semiconductori şi supraconductori, turbine şi motoare ceramice, scuturi termice, filtre ceramice, materiale antifricțiune, plăcuțe aşchietoare, materiale biocompatibile etc.

În alcătuirea ceramicelor pot intra:

- oxizi metalici şi ai metaloizilor (SiO_2; SiO_4; Al_2O_3; AlO_6; MgO; MgO_6; CaO; SrO; BaO; CdO; Cr_2O_3; MnO; FeO; CoO; NiO; BeO; Be_2O_3; ZrO_2; TiO; $BaTiO_3$ etc.);
- carburi (SiC; BC; B_4C; CW; TiC; VC etc.);

- nitruri (AlN; Si_3N_4; TiN etc.);
- boruri (TiB_2; ZrB_2 etc.);
- silicați;
- forme ale carbonului.

3.5.3.4. Elaborarea sticlei în vederea turnării

Sticla este un material amorf, termoplast, înrudit cu ceramicele. La elaborarea sticlei se folosesc:

- vitrifianți (SiO_2; B_2O_3; GeO_2; P_2O_5; As_2O_5), ca material de bază;
- fondanți (Na_2O, K_2O), care coboară temperatura de topire a sticlei;
- stabilizatori (MgO; PbO; Al_2O_3), care cresc duritatea, rezistența mecanică şi stabilitatea chimică;
- transparenți (As_2O_3; KNO_3);
- opacizanți (CaF_2);
- coloranți (oxizi metalici).

3.5.3.5. Elaborarea cauciucului în vederea turnării

Cauciucul este un material amorf, macromolecular, extensibil. În componența cauciucului industrial, utilizat la realizarea diverselor produse tehnice prin turnare pot intra:

- cauciucul natural;
- cauciucul sintetic brut;
- sulful (2...12%) pentru vulcanizare (modificarea structurii şi a proprietăților prin trecerea din stare plastică în elastică);
- acceleratori de vulcanizare, care reduc sulful şi scad temperatura şi durata de vulcanizare;
- ingrediente active (C - negru de fum), care îmbunătățesc proprietățile mecanice;
- ingrediente pasive (talc, caolin), care scad costul cauciucului;
- plastifianți, care îmbunătățesc proprietățile mecanice la temperaturi joase;
- antioxidanți, care cresc stabilitatea cauciucului în timp;
- coloranți;
- cauciuc regenerat.

3.5.3.6. Elaborarea materialelor compozite nemetalice în vederea turnării

Materialele compozite nemetalice sunt materiale compuse, la care matricea este nemetalică, iar armătura poate fi metalică sau nemetalică. De regulă, înainte de punerea în formă se face elaborarea matricei (prin una dintre metodele prezentate), iar materialul în totalitatea sa (asamblarea matricei cu armătura) este obținut direct

în forma de turnare.

3.6. CLASIFICAREA PROCEDEELOR DE TURNARE

3.6.1. Criterii de clasificare

Există mai multe criterii de clasificare, cele mai des întrebuințate fiind:

a. după natura materialului de turnat

- metalic (metale pure, fonte, oțeluri, metale şi aliafe neferoase etc.);
- nemetalic (bazalt, betoane, cauciuc, mase plastice, materiale compozite, materiale ceramice, sticlă etc.);

b. după numărul de utilizări ale formei

- pentru o singură utilizare (forme temporare);
- pentru utilizări multiple (forme permanente şi semipermanente);

c. după tipul formei

- forme deschise;
- forme închise;

d. după modul de formare

- cu modele permanente (demontabile, monobloc, cu schelet, cu şablon, cu placă model, cu pat fals etc.);
- cu modele temporare (uşor fuzibile sau volatile, liant termoreactiv etc.);

e. după natura materialului formei

- după natura liantului:
  - solid (argilă, bachelită, ciment, ipsos etc.);
  - lichid (sticlă solubilă, apă, silicat de etil, răşini etc.);
  - gazos (vid);
- după natura materialului de umplere:
  - metalic;
  - nemetalic;
  - granular;

f. după gradul de uscare a formei:

- forme crude (umede);
- forme uscate;

g. după grosimea pereților formei

- pereți groşi;
- pereți de grosime medie;
- forme coji;

h. după metoda de turnare

- directă;
- indirectă;
- continuă;
- intermitență;
- în planul de separație;
- cu rețea în fantă;
- cu rețea etajată.

i. după presiunea la care are loc procesul

- depresiune;
- presiune normală;
- suprapresiune - joasă, medie şi înaltă;

j. după mişcarea relativă a formei

- statică;
- centrifugală;
- oscilatorie (vibrarea materialului în curs de solidificare);
- agitarea electromagnetică a materialului în stare lichidă în forma de turnare;

k. după numărul planelor de separație

- fără plan de separație;
- cu un plan de separație;
- cu două plane de separație;

l. după masa şi gabaritul piesei

- miniaturale (piese de orologerie, dentare, micromecanică, cu masa de ordinul gramelor şi dimensiuni mai mici de 10 mm);
- mici (mecanică fină, cu mase mai mici de 0,1 kg şi dimensiuni mai mici de 100 mm);
- medii (piese uzuale cu mase mai mici de 100 kg şi dimensiuni mai mici de 800 mm);
- mari (piese uzuale cu mase mai mici de 3 000 kg şi dimensiuni mai mici de 2 000 mm);

- grele (piese agabaritice cu mase mai mari de 3 000 kg şi dimensiuni mai mari de 2 000 mm);

m. după modul de răcire (solidificare) a piesei

- lentă;
- rapidă;
- nedirijată;
- dirijată;

n. după gradul de automatizare a procesului

- manual;
- mecanizat;
- automatizat;

Pot exista şi situații intermediare, de procese parțial mecanizate sau parțial automatizate, referitoare numai la unele dintre operațiile procedeului de turnare, cum ar fi: realizarea sculei, pregătirea turnării, extragerea piesei, finisarea piesei, tratamentele aplicate piesei etc.;

o. după caracterul producției

- unicate;
- serie mică;
- serie mare;
- masă.

3.6.2. Procedee de turnare

Procedeele de turnare cu cea mai largă utilizare în industrie, clasificate după numărul de turnări, ce se pot efectua în aceeaşi formă şi după mişcarea formei, se prezintă în tabelul 3.10.

Tabelul 3.10. *Procedeele cele mai răspândite de turnare a metalelor, utilizate în industrie*

Tipul de utilizare a formei	Tipul constructiv al formei	Denumirea procedeului de turnare	Mişcarea formei
0	1	2	3
a. Turnare în forme temporare	a.1. Din amestec de formare obişnuit:	a.1.1. în solul turnătoriei	Static
		a.1.2. în rame	Static, arareori oscilant
		a.2.1. în miezuri	Static
		a.2.2. cu liant termoreactiv	
		a.2.3. cu modele uşor fuzibile	Static sau centrifugal
		a.2.4. cu modele volatile	Static

Tabelul 3.10. (*continuare*)

0	1	2	3
	a.2. Din amestec de formare special:	a.2.5. cu ciment 10 %	Static sau centrifugal
		a.2.6. cu autoîntărire	Arareori oscilant
		a.2.7. cu întărire cu CO_2	Static
		a.2.8. cu întărire în vid	Cu agitare electromagnetică
		a.2.9. cu întărire criogenică	Static
		a.2.10. cu întărire în câmp magnetic	Static
b. Turnarea în forme semipermanente		b.0.1. în rame	Static
		b.0.2. în miezuri	
c. Turnarea în forme permanente	c.1. Cochile	c.1. fără suprapresiune	Centrifugal sau static
	c.2. Matrițe	c.2.1. cu suprapresiune	Static
		c.2.2. prin aspirație	
	c.3. Continuă	c.3. continuă în bare sau plăci	

Cele mai importante utilizări şi coeficientul de utilizare a materialului în cazul procedeelor clasificate conform tabelului 3.10 se prezintă în tabelul 3.11.

Tabelul 3.11. *Utilizările procedeelor de turnare a metalelor şi aliajelor*

Procedeul de turnare	Caracteristici	Precizia 1-ridicată 2-medie 3-redusă	Coeficientul de utilizare a materialului	Aplicații recomandate
0	1	2	3	4
Forme din amestec de formare obişnuit	Formare manuală sau mecanizată (bătătoare pneumatice şi aruncătoare de amestec)	2-3	max. 0,5	Producția de unicate, piese cu configurație complexă, medii, mari şi grele
	Formare mecanizată, cu modele din lemn montate pe plăci model metalice	2-3	max. 0,65	Producția de serie mică, piese complexe, cu pereți subțiri
	Formare mecanizată, cu modele metalice, miezuri calibrate	2	max. 0,7	Producția de serie mare şi masă, piese complexe cu pereți subțiri
Forme coji, cu modele uşor fuzibile	Formare manuală sau mecanizată, la producția de serie	1-2	max. 0,9	Producția de unicate, serie, piese complexe, miniaturale, mici sau medii
Forme coji, cu liant termoreactiv	Proces mecanizat integral	2	max. 0,75	Producția de serie şi masă, piese complexe
Forme permanente, fără suprapresiune	Forme metalice demontabile, cu miezuri din amestec de formare	2-3	max. 0,9	Producția de serie şi masă, piese masive, cu pereți groşi, din fontă sau oțel

Tabelul 3.11. (*continuare*)

0	1	2	3	4
	Forme metalice demontabile, cu miezuri metalice sau din amestec de formare	2	max. 0,7	Producţia de serie şi masă, piese din aliaje neferoase
Forme permanente, cu suprapresiune	Forme metalice, maşini de turnat cu dozare manuală sau automată	1	max.0,92	Producţia de serie şi masă, piese cu pereţi subţiri din aliaje neferoase
Centrifugală	Forme permanente sau temporare, proces mecanizat	2-3	max.1,0	Producţia de unicate sau de serie se pretează la combinaţii diverse cu celelalte procedee

Clasificarea principalelor procedee de turnare, ţinând cont de mai multe criterii de clasificare se prezintă în tabelul 3.12.

Tabelul 3.12. *Clasificarea generală a procedeelor de turnare*

Proce-deul	Criteriul de clasificare													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Turnarea în forme temporare din amestec de formare obişnuit														
În rame	m&	un	p	md pm	agl	c &u	g	i	pa	s & o	0,1 2	m-M	l, nd	mnmz
În sol	a			ş sch		c				s	0,1			
Turnarea în forme temporare din amestec de formare special														
În rame	m	un	p	pm	aî	u	g	i	pa	s, o, c	1,2	m-mj	l, nd	mz
	&				vd									aut pt/ tot
					CO_2									
					cr								r	
					cm								l	
	a				şm									
			t	mv	cp. mg							mj-M	r	
În coji			p	pm	tr		s				1	m-mj	l, nd	pt aut
			t	mf	ss						0		/d	
În mie-zuri			p	cmz	afs		g			s	2,3	m-mj	l, nd	mz pt aut
Turnarea în forme permanente a:														
m & a		ml	-	ccl mţ	m	-	m	i &	pa sp dp	s/o/c s	1	m-mj	r,d/nd	mn mz
bazalt				fm mţ				c	sp	s	0,1			pt aut

Tabelul 3.12. (*continuare*)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
bn, ips, gp	un ml		cj tp	lm oț				pa vb					
sticlă	ml		fm	oț						1			
cauciuc			mț					pa/					
mat. compoz.								sp					
mat. plastice													

Criteriile de clasificare a procedeeelor de turnare sunt:

1-materialul piesei: m & a - metale şi aliaje; bn-beton; ips-ipsos; gp-ghips;

2-numărul de utilizări ale formei de turnare: un-unică utilizare; ml-multiplă;

3-caracterul modelului: p-permanent; t-temporar;

4-modul de formare/tipul formei: md-cu model demontabil; pm-placă model; ş-şablon; sch-schelet; mv-modele volatile; ccl-cochilă; mţ-matriţă; fm-forme; cj-cofraje; tp-tipare;

5-materialul formei/liantul: agl-argilă; aî-amestec cu autoîntărire; vd-forme vidate; CO_2-forme întărite cu CO_2; cr-forme criogenice; cm-forme întărite cu ciment; şm-forme din şamotă; cp.mg-forme întărite în câmp electromagnetic; tr-liant termoreactiv; ss-sticlă solubilă; afs-amestec de formare special; m-forme metalice; lm-forme din lemn; oț-oțel;

6-gradul de uscare a formei: c-forme crude; u-forme uscate;

7-grosimea pereților formei: g-groşi; s-subțiri; m-medii;

8-metoda de turnare: i-intermitentă; c-continuă;

9-presiunea de turnare: pa-presiune atmosferică; sp-suprapresiune;dp-depresiune;

10-mişcarea formei: s-statică; o-oscilantă; c-centrifugală;

11-numărul planelor de separație: 0, 1, 2;

12-gabaritul piesei: m-mic; mj-mijlociu; M-mare;

13-modul de solidificare a piesei: l-lent; nd-nedirijat; d-dirijat; r-rapid;

14-gradul de automatizare: mn-manual; mz-mecanizat; aut-automatizat; pt-parțial; tot-total.

3.7. TURNAREA ÎN FORME TEMPORARE

3.7.1. Schema procesului tehnologic

Procesul tehnologic de obținere a pieselor prin turnare în forme temporare (figura 3.17) - de unică utilizare - poate fi structurat în următoarele etape distincte:

- prepararea amestecului de formare şi a amestecului de miez;
- realizarea modelelor şi a cutiilor de miez pornind de la desenul piesei brut turnate sau de la desenele de execuție ale modelelor, miezurilor, rețelei de turnare şi răsuflătorilor;
- realizarea cavității de formare şi a miezurilor;
- asamblarea miezurilor în cavitatea de formare şi obținerea cavității de turnare;
- execuția rețelei de turnare şi a canalelor de aerisire şi asamblarea semiformelor în vederea obținerii formei de turnare;

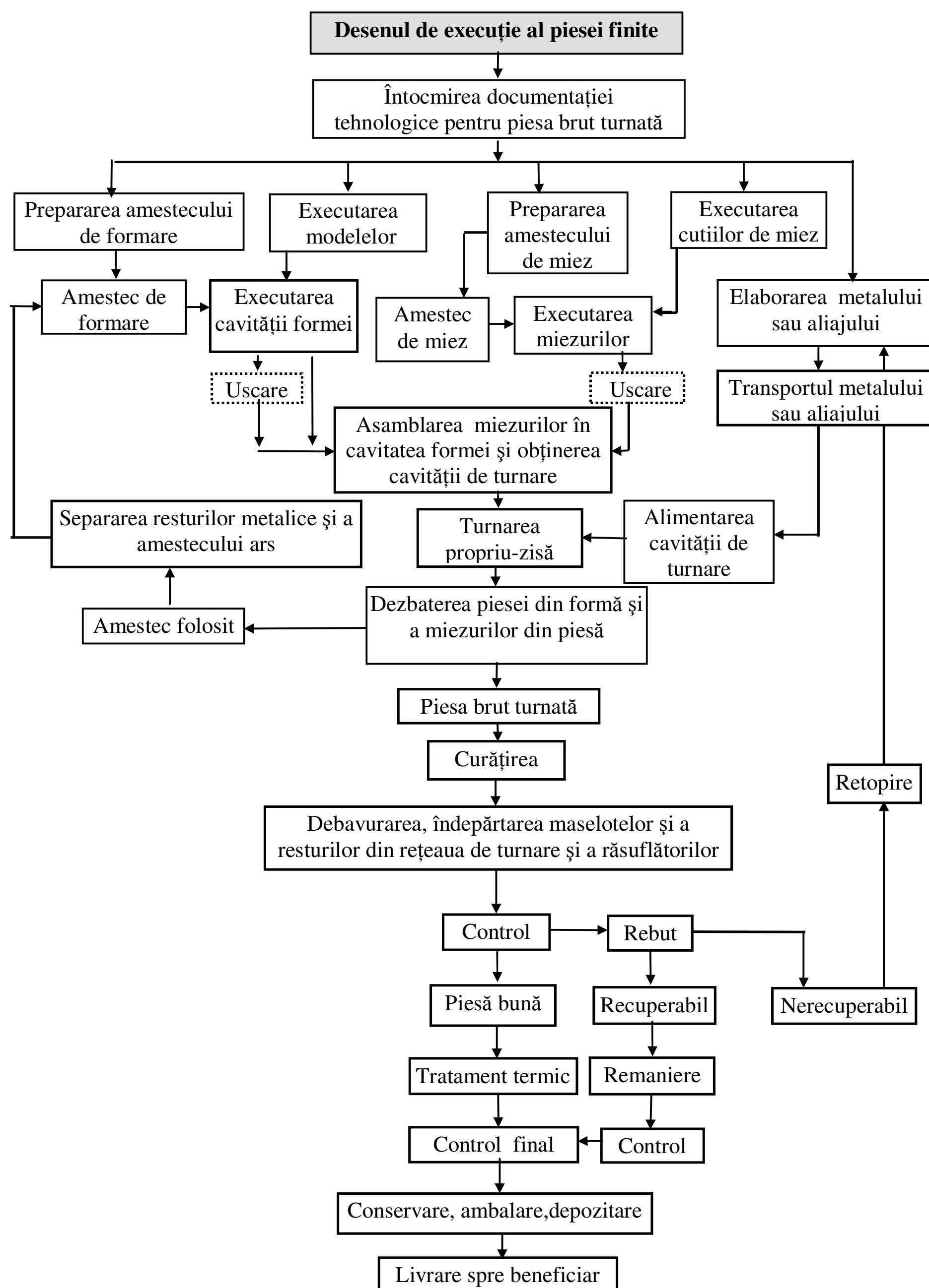


Fig. 3.17. Procesul tehnologic la turnarea în forme temporare din amestec de formare obişnuit.

- elaborarea metalului sau aliajului la temperatura de turnare, transportul şi alimentarea formelor de turnare;

- eventuale tratamente aplicate metalului sau aliajului lichid la umplerea formei şi asupra piesei în curs de solidificare;

- turnarea propriu-zisă (solidificarea piesei);

- dezbaterea piesei din formă şi a miezurilor din piesă;

- curăţirea, debavurarea şi îndepărtarea maselotelor, resturilor din reţeaua de turnare şi a răsuflătorilor;

- tratamente termice aplicate piesei turnate;

- controlul final al piesei;

- remedierea eventualelor defecte;

- operaţii post-producţie (manipulare, marcare, conservare, ambalare, depozitare şi livrarea spre beneficiar).

3.7.2. Bazele proiectării modelelor şi a cutiilor de miez

Proiectarea modelelor şi cutiilor de miez este cea mai importantă operaţie, deoarece modelele şi cutiile de miez determină configuraţia exterioară, respectiv interioară a viitoarei piese realizate prin turnare.

Modelele, ca şi cutiile de miez pot fi confecţionate din lemn, ipsos, ciment, materiale metalice sau mase plastice, în funcţie de volumul de producţie.

Modelele reproduc forma şi configuraţia piesei turnate, la dimensiuni majorate corespunzător cu valoarea contracţiei liniare a materialului de turnat. Din această cauză, este necesară identificarea uşoară a modelului destinat turnării unui anumit material. Acest lucru se face prin vopsirea în culori convenţionale: roşu - pentru fontă, albastru - pentru oţel, galben - pentru aliaje neferoase; negru - pentru zonele de rezemare a miezurilor numite *mărci*. Pentru confecţionarea miezurilor se folosesc cutii de miez. Cavitatea unei astfel de cutii reproduce configuraţia golului interior din piesă: total - când se utilizează un singur miez, sau parţial - când se folosesc mai multe miezuri. Dimensiunile cavităţii cutiei sunt mai mici decât ale golului corespondent din piesă, ţinând cont de valoarea contractiei liniare a materialului de turnat (invers decât la modele). Pentru identificarea destinaţiei cutiei de miez aceasta se vopseşte cu aceleaşi culori ca şi modelul.

Lemnul cel mai folosit în modelării este teiul, datorită caracteristicilor sale: esenţa moale, uşor prelucrabilă (inclusiv prin sculptare); stabilitate bună în timp, rezistă la formări multiple; raport calitate/preţ accesibil.

Pentru modele de precizie ridicată, se pot folosi şi alte esenţe de lemn, mai scumpe (fag, stejar, arţar, frasin, nuc, păr).

Modelele metalice sunt utilizate de regulă la formarea mecanizată. Ele pot fi asamblate cu modelul reţelei de turnare pe plăcile model.

La proiectarea modelelor şi a cutiilor de miez trebuie parcurse următoarele

etape (fig. 3.18):

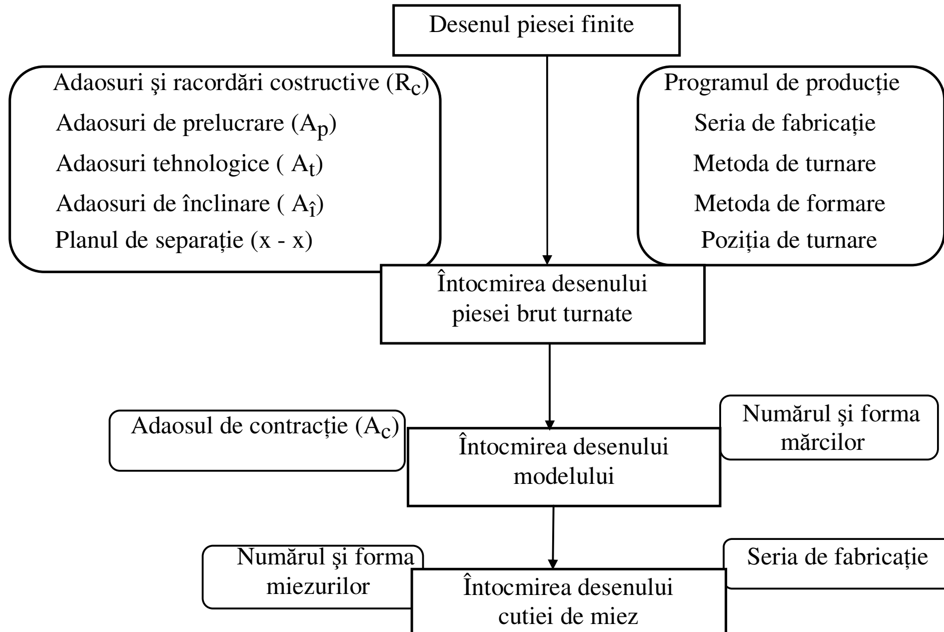


Fig. 3.18. Schema proiectării modelelor şi a cutiilor de miez.

1 - *stabilirea rolului funcțional al piesei* - se face pe baza metodei de analiză morfofuncțională a suprafețelor;

2 - *alegerea materialului optim pentru confecționarea piesei* - se foloseşte metoda de analiză a valorilor optime;

3 **-** *întocmirea desenului piesei brut turnate* - se face pornind de la desenul piesei finite (fig. 3.19), rezolvând următoarele:

a) stabilirea programului de producție – se face ținând cont de volumul de producție (numărul de bucăți) ce trebuie realizat în total, anual, lunar, zilnic etc.;

b) alegerea metodei de formare – se face în funcție de programa de producție, astfel: pentru producția de serie mică sau unicate se foloseşte formarea manuală; pentru producția de serie mare şi masă se foloseşte formarea mecanizată; pentru piese de greutăți şi gabarite mari se foloseşte formarea manuală şi turnarea în solul turnătoriei, iar pentru piese complexe, dimensiuni mici şi medii, în producție de serie se foloseşte formarea în miezuri;

c) stabilirea poziției de turnare – se face în funcție de complexitatea şi configurația geometrică a piesei care se toarnă. Se recomandă ca suprafața de dimensiuni maxime să fie în plan orizontal, iar

suprafețele care nu mai necesită prelucrări ulterioare prin aşchiere să fie în plan vertical;

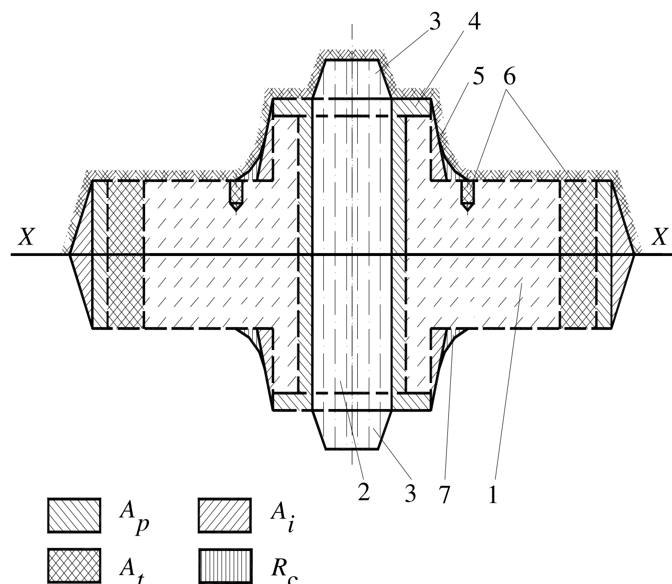


Fig. 3.19 Schema întocmirii desenului piesei brut turnate şi a configurației modelului: 1- piesa finită; 2 - miezul; 3 - mărcile miezului; 4 - adaosul de prelucrare A_p; 5 - adaosul de înclinare A_i; 6 - adaosul tehnologic A_t ; 7 - razele de racordare constructive R_c; - conturul semimodelului superior; X-X - planul de separație.

d) stabilirea metodei de turnare – se face în funcție de dimensiunile de gabarit, configurația geometrică a piesei, caracterul solidificării (simultane sau dirijate) şi în scopul umplerii complete a cavității de turnare şi al evitării apariției diferitelor defecte de turnare;

e) alegerea planului de separație X-X este o problemă importantă în economia de material consumat cu realizarea piesei turnate, deoarece mărimea adaosurilor de înclinare depinde de poziția planului de separație. La alegerea planului de separație trebuie să se țină seama de următoarele recomandări:

- să fie pe cât posibil plan de simetrie;
- să fie pe cât posibil un plan drept şi nu în trepte, deoarece complică foarte mult realizarea semiformelor de turnare;
- să fie situat numai în poziție orizontală;
- să conțină suprafața de dimensiuni maxime;
- să necesite cele mai mici valori pentru adaosurile de înclinare;

- să permită extragerea modelului din cavitatea de formare cât mai uşor posibil şi fără distrugerea ei;
- suprafețele ce urmează a fi prelucrate prin aşchiere să rămână în semiforma inferioară sau lateral, deoarece suprafețele care se găsesc în partea de sus a formei sunt mai puțin pure;
- să permită umplerea completă a cavității de turnare şi fără apariția unor posibile defecte de turnare.

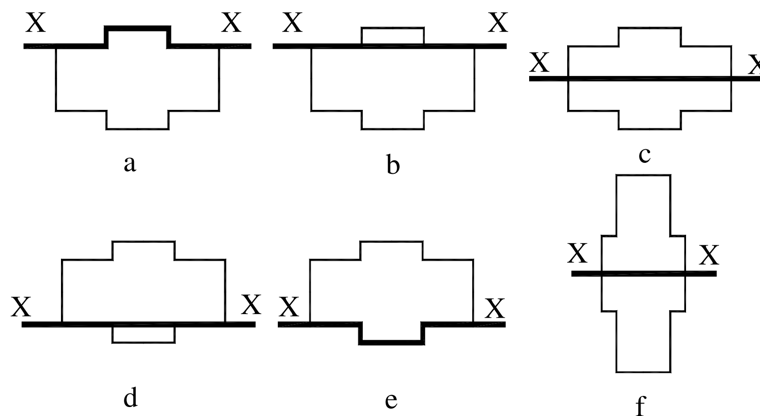


Fig. 3.20. Diferitele poziții ale planului de separație X-X pentru piesa din figura 3.19.

Pentru piesa din figura 3.19 poziția cea mai favorabilă este cea din figura 3.20. c, deoarece răspunde la cele mai multe recomandări;

f) stabilirea adaosurilor de prelucrare, A_p – pe toate suprafețele a căror precizie geometrică şi rugozitate nu pot rezulta în urma turnării, ci doar în urma prelucrării prin aşchiere. Mărimea adaosurilor de prelucrare se stabileşte în funcție de: calitatea materialului din care se toarnă piesa; dimensiunile şi complexitatea suprafețelor; clasa de precizie ce se vrea obținută; metoda de formare şi poziția suprafeței de prelucrat în timpul turnării (în partea de jos a formei, lateral sau sus). Valorile adaosurilor de prelucrare sunt standardizate şi se aleg din tabele;

g) stabilirea adaosurilor tehnologice, A_t – pe toate suprafețele a căror configurație şi poziție nu pot rezulta direct prin turnare. De asemenea, se prevăd adaosuri tehnologice pentru a simplifica forma tehnologică a piesei şi pentru a creşte tehnologicitatea construcției piesei turnate. În general, ele reprezintă: adaosuri la turnarea găurilor (când diametrul găurii $\varnothing < 20$mm) sau a altor suprafețe complicate (danturi, filete, caneluri etc.); adaosuri suplimentare pentru fixarea piesei în timpul prelucrărilor mecanice (bosaje, găuri de centrare, umere etc.); nervuri sau pereți care să prevină apariția crăpăturilor şi să crească rigiditatea piesei;

adaosuri suplimentare pentru a crea o solidificare dirijată şi pentru a transfera anumite defecte de contracţie în afara piesei etc.;

h) stabilirea adaosului de înclinare, A_i – se face funcţie de poziţia planului de separaţie X-X. De fapt, adaosul de înclinare şi poziţia planului de separaţie se aleg simultan, deoarece trebuie să asigure scoaterea uşoară a modelului din cavitatea de turnare (demularea) şi a miezurilor din cutia de miez. Mărimea adaosurilor de înclinare este funcţie de dimensiunile piesei turnate, natura materialului care se toarnă şi poziţia planului de separaţie. În general, unghiul de înclinare pentru suprafeţele exterioare α_{ie}= 1°…3°, iar pentru suprafeţele interioare α_{ii}= 3°…7°;

i) stabilirea razelor de racordare constructive exterioare R_c şi interioare r_c – se face cu scopul de a evita apariţia defectelor de tipul fisurilor şi crăpăturilor, precum şi pentru a facilita execuţia cavităţii de turnare. Mărimea razelor de racordare se alege în funcţie de: natura materialului care se toarnă; configuraţia geometrică a piesei turnate; mărimea dimensiunilor suprafeţelor ce urmează a fi racordate şi poziţia suprafeţelor în formă.

4 - *întocmirea desenului modelului* – se face pornind de la desenul piesei brut turnate rezolvând următoarele probleme:

a) stabilirea adaosurilor de contracţie – se face ţinând cont de natura materialului care se toarnă şi care se contractă diferit la solidificare. Fiecare dimensiune a modelului d_{m} se va calcula cu relaţia (3.2), iar mărimea contracţiei k se alege din tabelele 3.2 şi respectiv 3.4.

b) stabilirea numărului şi formei mărcilor – se face funcţie de configuraţia geometrică a miezurilor şi de poziţia acestora în cavitatea de turnare în timpul turnării şi solidificării.

c) stabilirea seriei de fabricaţie - se face în funcţie de programa de producţie şi de volumul de producţie. Ţinând cont de acestea se alege şi materialul din care se confecţionează modelul. De regulă, se alege: lemnul – pentru a executa până la 2 000 de formări; aliajele de aluminiu – până la 70 000 de formări; fontele aliate - până la 120 000 de formări; alamele şi bronzurile - până la 150 000 de formări şi răşinile sintetice - până la 30 000 de formări.

5 - *întocmirea desenului cutiei de miez* – se face ţinând cont de configuraţia interiorului piesei brut turnate care indică forma şi numărul miezurilor, adaosul de contracţie şi seria de fabricaţie.

3.7.3. Amplasarea piesei în forma de turnare

Alegerea modului de amplasare a piesei în forma de turnare se face ţinând seama de următoarele recomandări:

- la turnarea pieselor de dimensiuni mari şi de complexitate ridicată din fontă (batiuri şi montanţi de maşini-unelte, carcase de turbine sau de motoare etc.), părţile cele mai importante se amplasează la partea inferioară a formei, pentru a fi protejate de apariţia defectelor de turnare - care se formează la partea superioară (incluziuni, sufluri, retasuri);

- piesele sub formă de plăci mari (mese de trasaj, mese şi platouri de maşini-unelte) se formează în poziţie înclinată pentru a se favoriza eliminarea gazelor şi incluziunilor din piesă, prin deplasarea lor spre maselote şi răsuflători;

- dacă suprafeţe importante ale pieselor trebuie plasate la partea superioară a formei de turnare, atunci volumul maselotelor şi al adaosurilor de prelucrare trebuie majorat corespunzător, pentru ca defectele să nu se formeze în piesă;

- în cazul pieselor din aliaje cu contracţii mari la solidificare (oţeluri, bronzuri cu Al, fonte cu grafit nodular), poziţia piesei în formă se va alege astfel încât să se asigure o solidificare dirijată a aliajului dinspre zonele subţiri spre cele mai groase şi de aici spre maselote;

- planul de separaţie şi poziţia piesei în ramă trebuie astfel alese încât să se asigure un consum minim de materiale (reţeaua de turnare să fie cât mai mică şi simplă, miezurile cât mai puţine, dimensiunile formei cât mai mici);

- pereţii plani subţiri se vor plasa în partea inferioară a formei pentru a se asigura umplerea lor completă;

- la formarea în solul turnătoriei piesa turnată va fi amplasată în întregime în sol, capacul având numai rolul de închidere a formei;

- la turnarea în forme coji cu liant termoreactiv se recomandă ca suprafeţele de precizie ridicată ale piesei să nu se intersecteze cu planul de separaţie al piesei;

- planul de separaţie la formele coji cu liant termoreactiv se va alege astfel încât numărul de miezuri să fie minim.

3.7.4. Metode de formare

Executarea cavităţii de turnare, denumită pe scurt *formare* este operaţia principală a procesului tehnologic de obţinere a piesei turnate, deoarece de aceasta depinde, în cea mai mare măsură, calitatea pieselor turnate. Formarea cu amestec de fomare obişnuit se face prin diferite metode (fig.3.21).

3.7.4.1. Formarea mecanizată

Rămâne metoda de bază în fabricarea pieselor turnate, mai ales în producţia de unicate, serie mică şi chiar serie mijlocie. Se poate aplica atât la piesei mici şi simple, cât şi la piese foarte mari şi deosebit de complexe. Rămâne singura metodă prin care se obţin cavităţile de turnare la piesele de cea mai mare complexitate în producţia de unicate sau la piesele complexe, cu greutăţi şi gabarite mari.

Formarea manuală se poate aplica la toate metodele de formare prezentate

în figura 3.21, dar cea mai mare pondere o are *formarea manuală în două rame*. Etapele ce trebuie parcurse pentru a obține piesa din figura 3.22. a, folosind formarea manuală pentru a obține cavitatea de turnare corespunzătoare sunt:

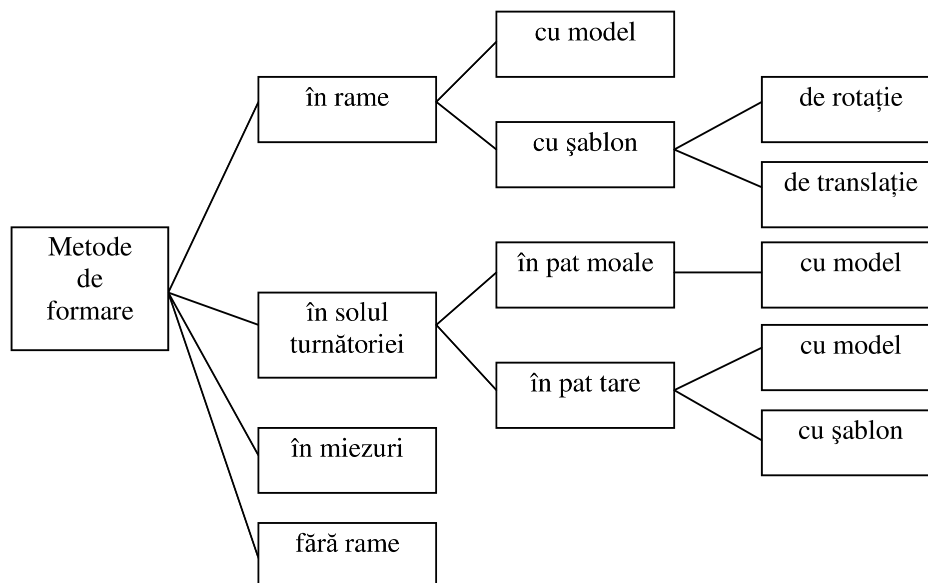


Fig. 3.21. Clasificarea metodelor de formare.

1) *Executarea semiformei inferioare* (fig. 3.22. e), ce cuprinde următoarele faze:

- pe placa model 1 se aşează semimodelul inferior 2 (fig.3.22. b), prevăzut cu găurile de centrare 3 şi semirama inferioară 4, prevăzută cu găurile de centrare 5;
- peste model şi placă se pune un strat 6 de pudră de izolație (pentru ca amestecul să nu adere la model), apoi se pune un strat de amestec de model 7, de 30…40 mm grosime;
- se îndeasă amestecul de model, de la margine spre centru pentru a se mula bine pe semimodelul inferior;
- se pune amestec de umplere 8 şi se îndeasă de la margine spre centru, apoi se netezeşte amestecul de umplere cu o rigletă până la nivelul superior al semiramei inferioare;
- se execută canalele de aerisire 9 ce vor permite evacuarea gazelor formate la contactul dintre pereții reci ai cavității de turnare şi metalul sau aliajul lichid la temperatura de turnare;

2) *Executarea semiformei superioare* (fig. 3.22. f), ce cuprinde următoarele faze:

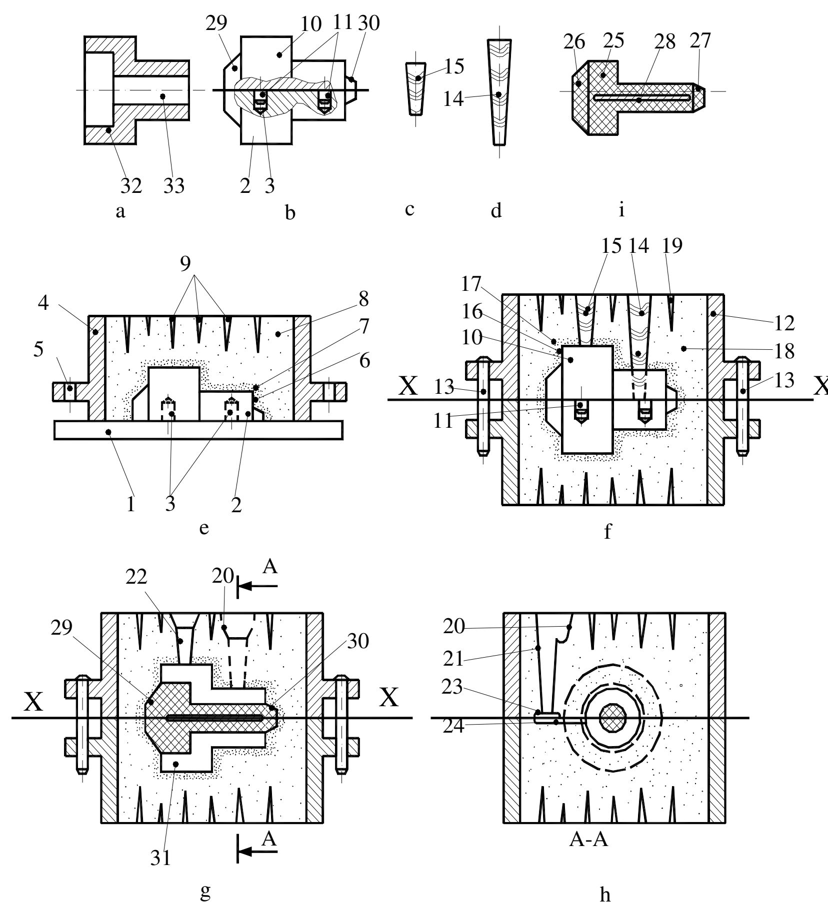


Fig. 3.22. Obținerea cavității de turnare:
1-placa model; 2-semimodelul inferior; 3-găurile de centrare; 4-semirama inferioară; 5-găuri de centrare şi fixare; 6, 16-pudra de izolație; 7, 17- amestec de model; 8, 18-amestec de umplere; 9, 19-canale de aerisire; 10-semimodelul superior; 11-ştifturi de centrare; 12-semirama superioară; 13-ştifturi de centrare şi fixare; 14-modelul rețelei de turnare; 15-modelul răsuflătorilor; 20-pâlnia de turnare; 21-piciorul pâlniei de turnare; 22-canalul răsuflătorilor; 23-canalul de distribuție; 24-canalul de alimentare; 25-miezul; 26,27-mărcile miezului; 28-armătura miezului; 29, 30-mărcile modelului; 31-cavitatea de turnare; 32-piesa brut turnată; 33-golul interior al piesei.

- se roteşte semiforma inferioară cu 180° şi se aşează din nou pe placa model;

- se centrează şi fixează semimodelul superior 10, prin intermediul ştifturilor de centrare 11, de semimodelul inferior şi se asamblează semirama superioară 12, cu semirama inferioară 4, prin intermediul ştifturilor de fixare 13;

- se fixează modelul reţelei de turnare 14 şi al răsuflătorilor 15;
- se pune pudra de izolaţie 16, amestec de model 17 şi amestec de umplere 18, în mod analog ca la executarea semiformei inferioare;
- se execută operaţia de îndesare, netezire şi de realizare a canalelor de aerisire 19;
- se execută pâlnia de turnare 20, se extrag modelele reţelei de turnare şi ale răsuflătorilor , rămânând piciorul pâlniei de turnare 21, şi canalele răsuflătorilor 22;

3) *Execuţia cavităţii de formare*, ce cuprinde următoarele faze:
- se ridică semiforma superioară şi se roteşte cu 180°, în planul de separaţie X-X, rămânând cele două semimodele, inferior şi superior înglobate în amestecul de formare obţinut;
- se realizează demularea (se extrag cu grijă cele două semimodele) şi rezultă semicavitatea inferioară de turnare şi respectiv superioară;
- se execută canalul de distribuţie 23 şi canalele de alimentare 24;
- se fac eventuale retuşuri ale suprafeţelor în contact cu semimodelele, care în timpul demulării s-au deteriorat;

4) *Obţinerea cavităţii de turnare* (fig.3.22. g şi h) cuprinde următoarele faze:
- se aşează miezul 25, prevăzut cu mărcile de miez 26 şi 27 şi armătura 28, în semicavitatea inferioară, pe suprafeţele obţinute cu mărcile de model 29 şi 30;
- se asamblează cele două semicavităţi de turnare de-a lungul planului de separaţie X-X şi rezultă cavitatea de turnare 31, ce are configuraţia identică cu cea a piesei brut turnate 32, prevăzută cu golul interior 33.

Observaţie. Etapele prezentate mai sus, privind execuţia cavităţii de turnare sunt aceleaşi la toate metodele de formare, diferenţele fiind date doar de natura materialului din care se execută cavitatea de turnare.

3.7.4.2. Metode de realizare mecanizată a formelor

În scopul creşterii productivităţii muncii şi a uşurării condiţiilor grele de muncă se pot aplica mai multe metode de formare, cu grad diferit de mecanizare şi de automatizare. Acestea se pot referi la următoarele operaţii de bază:
- formarea propriu-zisă (umplerea ramelor şi a cutiilor de miez cu amestec de formare, îndesarea amestecului şi demularea);
- asamblarea formelor;
- dezbaterea formelor.

Pot fi mecanizate şi operaţiile pregătitoare, precum:
- gestionarea materiilor prime;
- dozarea, realizarea şi transportul amestecurilor;
- transportul formelor;

- recuperarea şi tratarea amestecurilor folosite.

Pentru a înlesni formarea mecanizată, trebuie să se realizeze următoarele simplificări cu caracter constructiv şi tehnologic (fig.3.23):

- folosirea unui singur tip de amestec de formare (pentru forme şi miezuri);
- semimodelele să fie asamblate pe *plăci model*;
- modelul rețelei de turnare şi al maselotei să fie asamblat în *garnitura de model*.

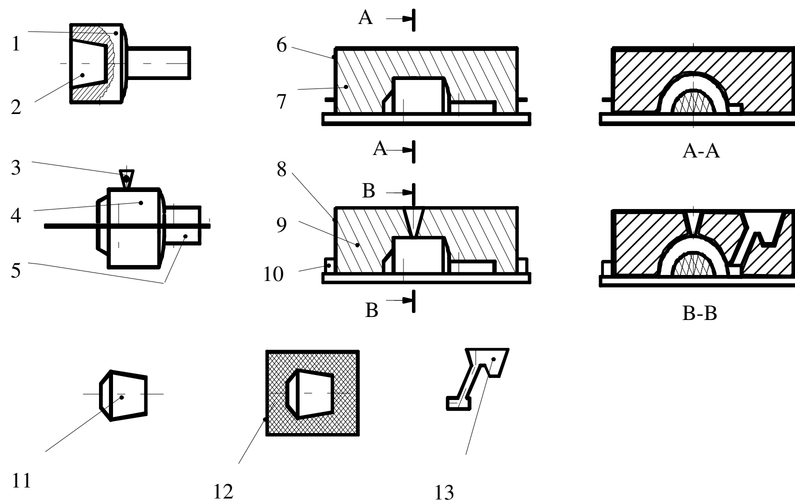


Fig. 3.23. Aspectul modelelor şi al formelor la formarea mecanizată:
1 - piesă; 2 - gol interior; 3 - modelul maselotei; 4 - placa model superioară; 5 - placa model inferioară; 6 - rama superioară; 7 - semiforma superioară; 8 - rama inferioară; 9 - semiforma inferioară; 10 - bolțuri de centrare; 11 - miez; 12 - cutie de miez; 13 - modelul rețelei de turnare.

Piesa 1, prevăzută cu golul interior 2, este transpusă în modelul de turnare. În acest caz modelul este executat din două jumătăți montate pe plăcile model 4 şi 5 împreună cu modelul maselotei 3, respectiv cu garnitura rețelei de turnare 13. Peste plăcile model se aşează ramele: superioară 6, respectiv inferioară 8, prevăzută cu bolțurile de centrare 10. Umplerea ramelor şi îndesarea amestecului de formare unic se face mecanizat, formarea putând fi efectuată simultan pentru ambele semiforme.

În funcție de modul cum se realizează cavitatea de turnare şi de modul cum se realizează îndesarea amestecului de formare se deosebesc mai multe metode:

a. Formarea cu şablonul (fig.3.24). Şablonul este o placă profilată, confecționată din metal, care prin mişcare relativă (rotație, translație sau combinată) generează profilul cavității formei. Formarea cu şablonul este semimecanizată, ea se utilizează la realizarea formelor şi a miezurilor în producția de serie mică şi mijlocie, în cazul pieselor cu configurație simetrică.

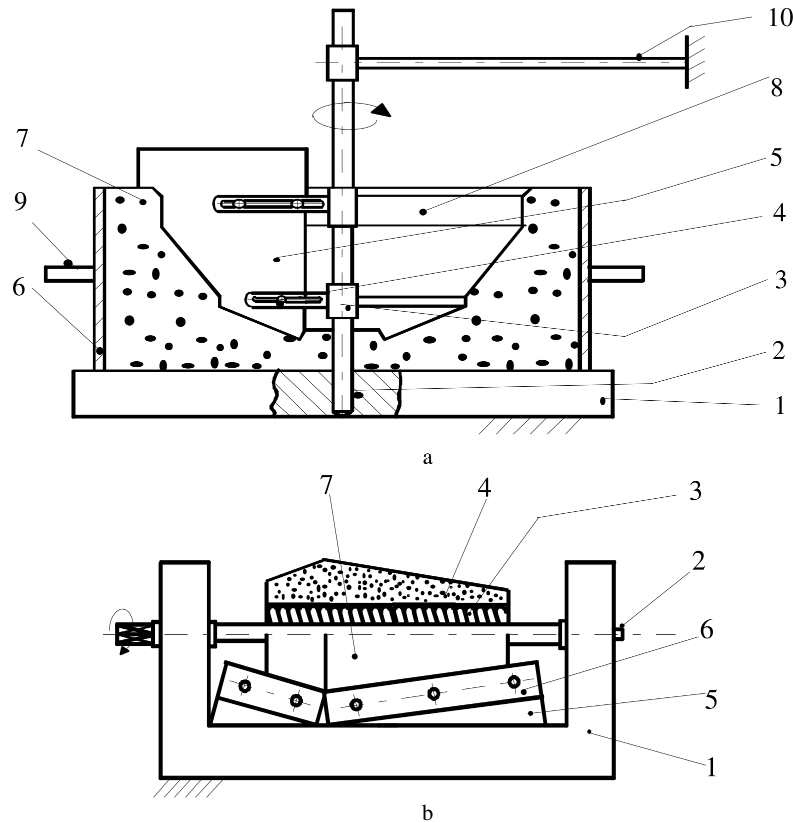


Fig. 3.24. Principiul formării semimecanizate cu şablonul:
a - formarea într-o ramă: 1 - placă suport; 2 - ax; 3 - bride de fixare a şablonului; 4 - şuruburi; 5 - şablon rotitor; 6 - rama de formare; 7 - amestec de formare; 8 - cavitatea formei, profilată cu şablonul; 9 - urechi de asamblare a ramei; 10 - traversă de rigidizare a axului;
b - formarea miezurilor: 1 - şasiu; 2 - ax; 3 - armătura miezului; 4 - amestec de miez; 5 - şablon fix; 6 - muchii active; 7 - miez.

La realizarea profilului cavității formei, rama de formare 6 se aşează pe placa suport 1, care este prevăzută cu o gaură centrală, în care se asamblează axul 2, rigidizat la celălalt capăt cu traversa 10, şi apoi se umple cu amestecul de formare 7. Pe axul 2 se montează şablonul 5 cu ajutorul şuruburilor 4 şi a bridelor 3. Formarea se face prin rotirea manuală a şablonului în jurul axului 2, profilul cavității formei rezultând prin răzuirea şi îndesarea amestecului de formare.

Pentru realizarea miezurilor se foloseşte şasiul 1, pe care se asamblează şablonul 5, care este, în acest caz fix, prevăzut cu muchiile active 6, care au rolul de a răzui surplusul de amestec de miez 4, depus pe armătura 3, la rotirea axului 2. Armătura se fixează inițial pe axul 2.

b. Formarea prin presare (fig.3.25). Semimodelul 2, asamblat cu placa model 1, se aşează pe masa maşinii 6. Peste placa model se pun rama de formare 3 şi rama suplimentară 4, de înălțime egală cu sabotul maşinii 8, în care este prelucrată o suprafață interioară corespunzătoare configurației plăcii model (metoda devine rentabilă pentru producția de serie mare şi de masă). Profilarea sabotului duce la creşterea şi uniformizarea gradului de îndesare (în cazul producției de serie mică, se poate renunța la profilarea sabotului). Masa maşinii este mobilă, deplasându-se sub acțiunea pistonului hidraulic 7, în timp ce sabotul este fixat pe traversa fixă 9. Presarea are loc gradat, pe măsură ce se ridică masa maşinii, rezultând gradul de îndesare 10, neuniform pe înălțimea formei. Când se foloseşte sabotul profilat se obține gradul de îndesare 11, mai uniform.

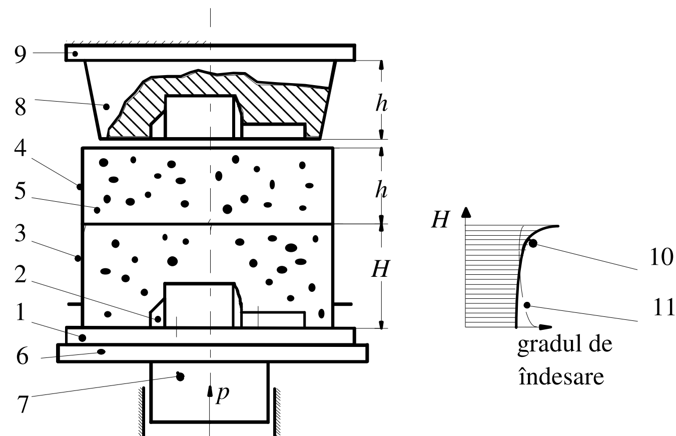


Fig. 3.25. Principiul formării cu îndesare prin presare cu piston:
1 - placă; 2 - model; 3 - rama de formare; 4 - ramă suplimentară; 5 - amestec de formare unic; 6 - masa maşinii; 7 - piston hidraulic; 8 - sabot profilat; 9 - traversă fixă; 10,11 - grade de îndesare.

c. Formarea prin presare cu membrană (fig.3.26). Modelul piesei se asamblează cu placa, alcătuind placa model 2, care se aşează pe masa maşinii 1. Peste placa model se poziționează rama de formare 3, prevăzută la capete cu flanşă, care permite fixarea şi etanşarea membranei de cauciuc 8. Rama se umple cu amestec unic de formare 4, după care coboară capul de presare 9, pe care este fixată rama de închidere 5, prevăzută cu elementele de fixare-etanşare 6 şi cu duza de admisie 7 a aerului comprimat. Capul de presare deformează membrana 8, care presează amestecul în jurul modelului rezultând gradul de îndesare neuniform 10.

Procedeul se aplică în producția de serie mică, mijlocie sau mare, nemaifiind necesară realizarea unui sabot care să reproducă configurația piesei; se poate aplica pieselor de dimensiuni medii şi mari, deoarece pentru piesele mici deformarea membranei nu este suficientă obținerii unei îndesări satisfăcătoare pe conturul piesei.

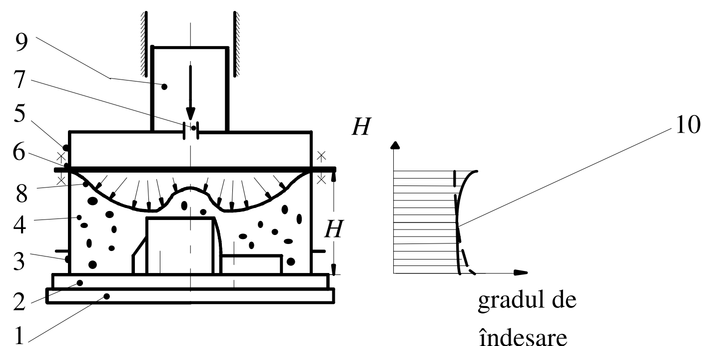


Fig. 3.26. Principiul formării cu îndesare prin presare cu membrană:
1 - masa maşinii; 2 - placa model; 3 - rama de formare; 4 - amestec de formare; 5 - rama de închidere; 6 - elemente de fixare; 7 - duza de admisie a aerului comprimat; 8 - membrană de cauciuc; 9 - cap de presare; 10 - grad de îndesare.

d. Formarea prin scuturare sau vibropresare (fig.3.27). Placa model 1 se fixează pe masa maşinii 2. Pe placa model se poziţionează rama de formare 3, care se umple cu amestec unic de formare 4. Îndesarea amestecului se face, într-o primă etapă, prin scuturare (vibrare), astfel: aerul comprimat intră prin canalele 5 în camera 6 a cilindrului 9, ridicând pistonul 7 şi forma de turnare. Ridicarea se face până la întreruperea circuitului de alimentare cu aer, iar la realizarea comunicării dintre camera 6 şi canalul de evacuare a aerului 8 presiunea scade brusc, pistonul 7 cade brusc odată cu forma de turnare, producându-se tasarea amestecului de formare prin inerţia granulelor componente. Procesul de scuturare se desfăşoară cu o frecvenţă de: 100…180 [ori/min], obţinându-se gradul de îndesare 15. Îndesarea este completată prin presarea amestecului, prin ridicarea întregului ansamblu cu ajutorul pistonului 9 acţionat de aerul comprimat care intră prin canalul 10 în camera 12 a cilindrului 11, presarea făcându-se ca în cazul figurii 3.25, de către sabotul profilat 13, care este montat pe traversa fixă a maşinii 14, rezultând gradul de îndesare 16.

Gradul de îndesare obţinut este uniform, el fiind dat de cumularea efectelor celor două etape.

Procedeul se aplică pieselor de dimensiuni mici şi medii, în producţia de serie mare şi de masă.

e. Formarea prin aruncare centrifugală (fig.3.28). Din buncărul 1, amestecul de formare 2 este transportat pe banda rulantă 3 spre capul aruncător 4. Amestecul de formare pătrunde prin fereastra 5 în interiorul carcasei capului aruncător, de unde este preluat de rotorul cu palete 6, care se roteşte cu n = 1 500 rot/min. Bulgării din amestec de formare 7 sunt aruncaţi în rama de formare 8, montată pe placa model 10, realizându-se umplerea formei 9. Pentru confecţionarea în totalitate a formei de turnare, capul aruncător se deplasează în lungul ramei, baleind întreaga suprafaţă (direcţiile I şi II).

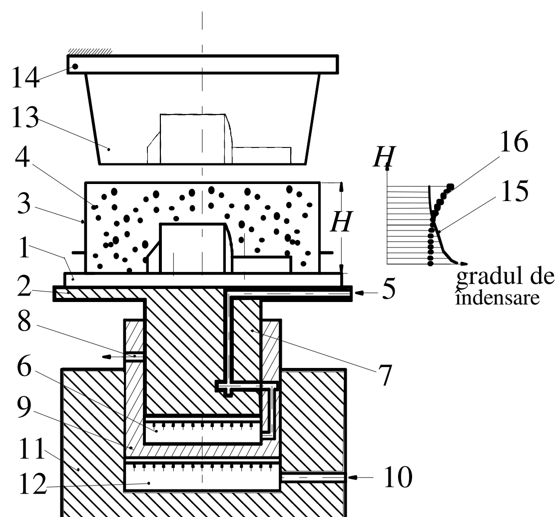


Fig. 3.27. Principiul formării prin vibropresare:
1 - placa model; 2 - masa mașinii; 3 - rama de formare; 4 - amestec de formare; 5 - canale de admisie a aerului; 6 - cameră; 7 - piston interior (de scuturare); 8 - canal de evacuare a aerului; 9 - piston exterior (de presare); 10 - canale de admisie a aerului; 11 - cilindru pneumatic; 12 - cameră; 13 - sabot profilat; 14 - traversă fixă; 15,16 - grade de îndesare.

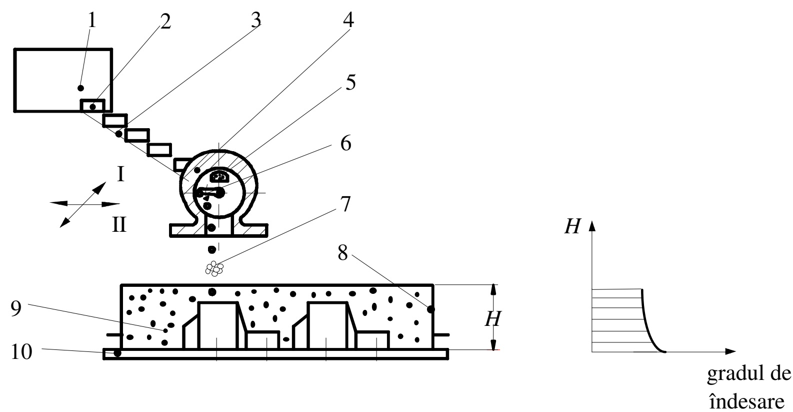


Fig. 3.28. Principiul formării prin aruncare centrifugală:
1 - buncăr; 2 - amestec de formare; 3 - bandă rulantă; 4 - cap aruncător; 5 - fereastră; 6 - rotor cu palete; 7 - bulgări din amestec de formare; 8 - rama de formare; 9 - amestec îndesat; 10 - placa model.

Comparativ cu formarea prin presare sau scuturare, la formarea prin aruncare umplerea și îndesarea formei au loc simultan, fapt ce duce la creșterea productivității. Metoda prezintă și avantajul flexibilității mai ridicate față de alte

metode de formare mecanizată, putându-se aplica şi în cazul producţiei de unicate şi de serie mică şi pentru piese de dimensiuni mari.

3.7.4.3. Metode de realizare mecanizată a miezurilor

Formarea mecanizată a miezurilor se execută în cutii de miez pe maşini de format miezuri care, în general, funcţionează pe aceleaşi principii cu maşinile de executare mecanizată a formelor. Maşinile de formare mecanizată a miezurilor realizează umplerea mecanizată a cutiilor de miez cu amestec de miez şi îndesarea mecanizată a amestecului de miez. Sunt câteva metode de realizare mecanizată a miezurilor, cele mai des întâlnite fiind prezentate mai jos (fig.3.29 şi fig.3.30):

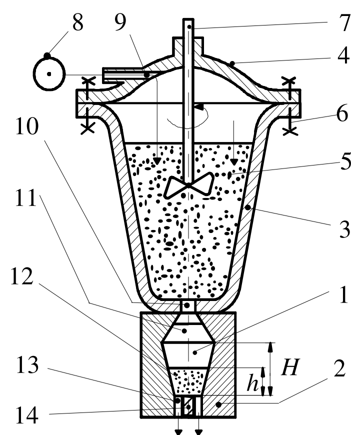


Fig. 3.29. Principiul formării prin suflare: 1 - cavitatea de formare a miezului; 2 - cutie de miez; 3 - buncăr; 4 - capac; 5 - amestec de miez; 6 - dispozitiv de închidere; 7 - amestecător; 8 - sursă de aer comprimat; 9 - supapă de admisie; 10 - orificiu de evacuare a aerului; 11 - con de admisie; 12 - miez ; 13 - orificii de evacuare a aerului; 14 - filtru de reţinere a particulelor de amestec.

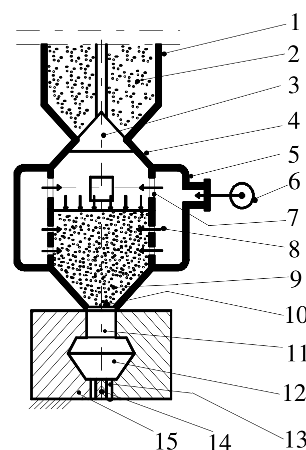


Fig. 3.30. Principiul formării prin împuşcare: 1 - buncăr; 2 - amestec de formare; 3 - şubăr; 4 - ţeavă; 5 - cutie de aer; 6 - sursă de aer comprimat; 7 - orificii de admisie a aerului; 8 - orificii înguste; 9 - proiectil din amestec îndesat; 10 - duza de evacuare; 11 - duza de admisie; 12 - cavitatea generatoare a miezului; 13 - orificii de evacuare a aerului; 14 - filtru de reţinere; 15 - cutie de miez.

a. Formarea mecanizată prin suflare (fig.3.29). Pentru realizarea miezului se foloseşte o cutie de miez metalică 2, prevăzută cu cavitatea de formare a miezului 1, precum şi cu conul de admisie a amestecului de formare suflat 11 şi cu canalele de evacuare a aerului 13. Cutia de miez se poate desface, permiţând extragerea miezului. Amestecul de formare 5, bine uscat şi fin cernut, este introdus în interiorul buncărului 3, peste care se închide etanş capacul 4 cu dispozitivul de fixare 6. Capacul este prevăzut cu supapa de admisie a aerului comprimat 9, precum şi cu amestecătorul 7, destinat fluidizării amestecului de formare.

Aerul comprimat din rețeaua uzinală (6 barr) 8 pătrunde prin supapa de admisie 9 din capacul 4 antrenând particulele de amestec de formare prin orificiul de evacuare 10 spre conul de admisie 11 al cutiei de miez, pe unde amestecul este suflat în cutia de miez umplând treptat volumul acesteia. Aerul comprimat este apoi evacuat în atmosferă prin orificiile 13. Pentru a se evita evacuarea particulelor de amestec odată cu aerul din cutia de miez, orificiile 13 sunt prevăzute cu filtrul 14.

Această metodă se aplică la realizarea miezurilor de dimensiuni mici şi mijlocii, în producția de serie mare şi de masă. Necesită cutii de miez speciale.

b. Formarea mecanizată prin împuşcare (fig.3.30). Spre deosebire de metoda anterioară, când particulele de amestec de formare erau doar transportate pneumatic, în acest caz se obține mai întâi un bulgăre îndesat din amestec de formare, care ulterior este propulsat în cutia de miez pe cale pneumatică.

Din buncărul 1, amestecul 2 este dozat prin şubărul 3 în țeava 4, unde este îndesat cu ajutorul aerului comprimat, din sursa 6, care pătrunde mai întâi prin orificiile înguste 8. Ulterior, se deschid şi orificiile mari de admisie a aerului 7, realizându-se „împuşcarea” proiectilului 9, din amestec de formare îndesat, în cutia de miez 15, prin duza de evacuare 10 şi cea de admisie a cutiei 11. Ca şi anterior, aerul este evacuat din cutia de miez prin orificiile 13 şi filtrul 14.

Metoda are o productivitate ridicată şi se aplică la realizarea miezurilor de dimensiuni medii şi mari, în producția de serie mare şi de masă.

3.7.5. Metode de extragere a modelelor

În cazul formării cu modele permanente este necesar ca forma de turnare să permită demularea. Acest lucru se reflectă în folosirea formelor asamblate cu plane de separație, ca şi în adăugarea, la volumul piesei, a unor adaosuri de înclinare, care să îngăduie demularea uşoară, fără a se deteriora muchiile sau pereții semiformelor. La rândul său, demularea poate fi mecanizată, în cazul pieselor de dimensiuni medii şi mari, pentru a scuti efortul fizic al lucrătorilor, şi poate fi automatizată, pentru a scurta durata de execuție în cazul producției aceloraşi gabarite de piese în producția de serie mare şi masă. Cele mai utilizate metode de demulare mecanizată sunt:

- demularea prin ridicarea semiformei;
- demularea prin coborârea modelului;
- demularea prin bascularea plăcii model.

3.7.5.1. Demularea prin ridicarea semiformei

Placa model 1 este fixată pe masa maşinii de formare, iar rama de formare împreună cu semiforma de turnare 2 este ridicată cu ajutorul dispozitivului 3, acționat hidraulic sau mecanic (fig.3.31).

3.7.5.2. Demularea prin coborârea modelului

Placa model este alcătuită din două elemente demontabile (fig.3.32): elementul 1 conține modelul, putând să coboare după formare, acționat de pistonul hidraulic 5, în timp ce elementul 2, rămâne fix susținând forma 3, pe masa maşinii de formare 4. După demulare mecanismul de transfer 6 împinge semiforma pe transportorul cu role 7. După care placa model este din nou asamblată şi gata de a se relua ciclul de formare.

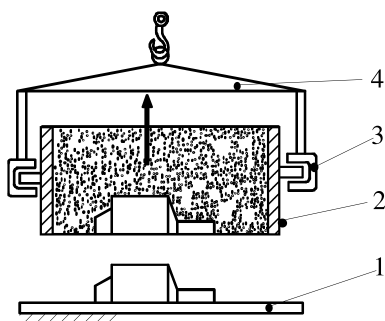


Fig. 3.31. Principiul demulării prin ridicarea semiformei:
1 - placa model; 2 - semiformă;
3 - dispozitiv de reținere; 4 - dispozitiv de ridicare.

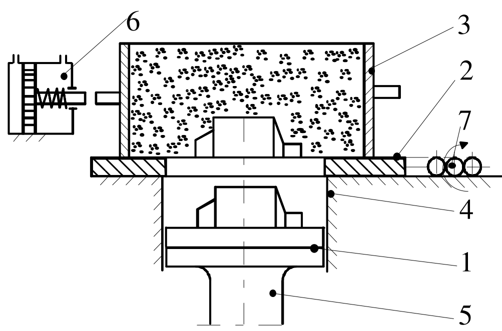


Fig. 3.32. Demularea prin coborârea modelului:
1,2 - părți ale plăcii model; 3 - semiformă; 4 - masa maşinii de formare; 5 - piston hidraulic;
6 - mecanism de transfer; 7 - transportor.

3.7.5.3. Demularea prin basculare plăcii model

Semiforma 3 (fig.3.33) este aşezată peste placa model 2, care este fixată pe masa rabatabilă a maşinii de formare 1. Bascularea mesei se face cu angrenajul 4, antrenat prin cuplajul/frână electromagnetică 5 de motorul electric 6.

După formare, masa basculează aşezând semiforma pe platoul hidraulic 8, în poziția 7. La coborârea pistonului are loc demularea, placa model este fixată în permanență pe masa maşinii, iar semiforma finită este transferată cu pistonul 10 pe transportorul cu role 9.

Pentru o nouă formare placa model este readusă în poziția inițială.

3.7.6. Rețele de turnare

Rețelele de turnare sunt alcătuite din totalitatea canalelor şi a cavităților destinate conducerii metalului sau aliajului lichid spre cavitatea formei. O rețea de turnare trebuie să asigure:

- o viteză şi o direcție de curgere corespunzătoare pentru ca topitura să umple în întregime cavitatea formei de turnare;

- umplerea să decurgă liniştit, fără antrenarea gazelor în cavitatea formei;
- o distribuție uniformă a topiturii în formă, astfel încât să existe gradiente reduse de temperatură între diversele zone ale piesei;
- reținerea incluziunilor nemetalice şi a zgurei înainte de a pătrunde în cavitatea generatoare a piesei.

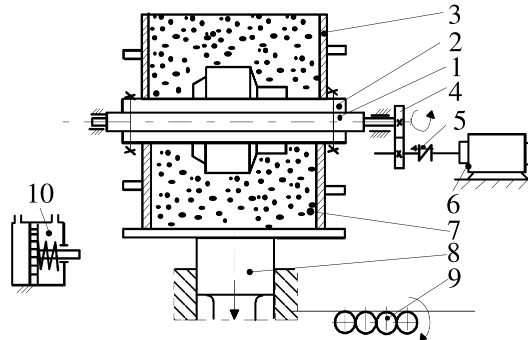


Fig. 3.33. Demularea prin bascularea plăcii model:
1 - masă rabatabilă; 2 - placa model; 3 - semiformă; 4 - angrenaj; 5 - cuplaj/frână; 6 - motor electric; 7 - semiforma basculată; 8 - piston hidraulic; 9 - transportor cu role; 10 - mecanism de transfer.

Rețeaua de turnare este partea tehnologică a cavității formei de turnare alcătuită în mod obişnuit (figura 3.34) din: *pâlnia* (*cupa*) *de turnare* 1, care este o cavitate deschisă în care se toarnă topitura; aceasta se continuă cu *piciorul pâlniei* 2, un canal vertical, apoi cu un canal orizontal, situat deasupra planului de separație, de secțiune trapezoidală, denumit *canalul colector de zgură* (denumit uneori şi *canal de distribuție*) 3. Din acesta pornesc *canalele de alimentare* 4 care conduc metalul sau aliajul topit în cavitatea generatoare a piesei. La partea dinspre piesă canalele de alimentare au o secțiune îngustată numită *atac*, care permite detaşarea uşoară a rețelei de turnare de piesa solidificată.

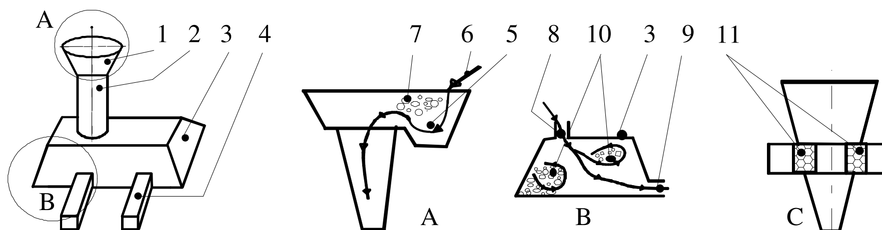


Fig. 3.34. Structura unei rețele de turnare:
1 - pâlnia de turnare; 2 - piciorul pâlniei; 3 - canalul colector de zgură; 4 - canale de alimentare; 5 - prag; 6 - traiectoria aliajului topit; 7 - zgură; 8 - admisia aliajului în canalul colector; 9 - evacuarea spre canalele de alimentare; 10 - separarea impurităților; 11 - filtre ceramice;
A - detaliul pâlniei de turnare; B - detaliul canalului colector; C – rețea de turnare cu filtre ceramice.

Dacă se folosesc oale de turnare cu dop (turnare pe la partea inferioară), nu mai este necesară reținerea zgurei în rețeaua de turnare.

În raport cu gradul de oxidabilitate al aliajelor turnate, rețelele de turnare pot fi concepute:

- convergent când secțiunea se îngustează de la piciorul pâlniei de turnare spre canalele de alimentare. Se utilizează la aliajele cu oxidabilitate redusă, fără tendință de spumare, precum: fonte, oțeluri, bronzuri cu staniu;

- divergent când secțiunea cea mai îngustă o are piciorul pâlniei de turnare. Se utilizează la aliajele uşor oxidabile cum sunt cele de aluminiu şi de magneziu.

Dimensionarea rețelelor de turnare se face prin calcularea secțiunii celei mai înguste a rețelei S_i, cu relația

$$S_i = \frac{M}{\mathrm{v} \cdot \rho \cdot t \cdot L} \qquad [\mathrm{m}^2] \qquad (3.12)$$

unde: $S_i = S_a$ - pentru rețelele convergente; respectiv: $S_i = S_p$ - pentru rețelele divergente; S_a - aria secțiunii canalului de alimentare, în [m^2]; S_p - aria secțiunii piciorului pâlniei de turnare, în [m^2]; M - masa totală a aliajului lichid, necesară pentru umplerea formei de turnare, în [kg]; v - viteza de curgere a aliajului topit, în [m/s]; ρ - densitatea aliajului lichid, în [kg/m^3]; t - durata de turnare, în [s]; L - coeficient adimensional, care ține seama de fluiditatea aliajelor; L = 1, pentru oțeluri obişnuite; respectiv L = 0,8, pentru oțeluri înalt aliate.

Restul elementelor rețelei de turnare se dimensionează în funcție de rapoartele caracteristice tipurilor de rețele, astfel:

- pentru rețelele convergente: $S_p > S_c \geq \sum_{j=1}^{n} S_{aj}$

- pentru rețelele divergente: $S_p < S_c \geq \sum_{j=1}^{n} S_{aj}$

unde S_c este aria secțiunii canalului de colectare a zgurei (de distribuție).

Rapoartele caracteristice sunt recomandate în cărțile de specialitate, după mărimea piesei turnate şi în funcție de fluiditatea materialului de turnat, ca de exemplu:

- pentru piese mari din fontă: $S_p/S_c/S_a$ = 2/1,5/1;
- pentru piese mari din oțel: $S_p/S_c/S_a$ = 1,6/1,3/1;
- pentru piese mici din aliaje neferoase uşoare: $S_p/S_c/S_a$ = 1/3/3.

În cazul turnării pieselor de mari dimensiuni, din aliaje uşor oxidabile, pâlnia de turnare (detaliul A) poate fi construită cu un prag 5, care are rolul de a asigura o curgere în sifon 6, astfel încât să se separe zgura 7 la suprafața topiturii din pâlnie.

Detaliul B prezintă o secțiune prin colectorul de zgură 3. Se observă modul de curgere a topiturii, între admisia prin piciorul pâlniei 8 şi evacuarea prin

canalele de alimentare 9, cum se creează o curgere turbulentă, care are drept rezultat separarea şi depunerea zgurei 10 la colțurile secțiunii.

Detaliul C prezintă o variantă de pâlnie de turnare cu filtre ceramice 11, pentru reținerea zgurei utilizabilă la turnarea aliajelor uşor oxidabile.

3.7.7. Metode de turnare

Metodele de turnare se referă la modul de introducere a metalului sau aliajului lichid în cavitatea generatoare a piesei. Metoda de turnare se alege în raport cu configurația şi cu dimensiunile piesei, cu natura materialului turnat şi cu nivelul de productivitate urmărit, cu grosimea pereților şi modul de solidificare.

Cele mai des întâlnite metode de turnare sunt: *turnarea directă* sau în cădere; *turnarea cu rețea în ploaie; turnarea indirectă* sau în sifon; *turnarea în planul de separație; turnarea prin rețea etajată* şi *turnarea prin rețea în fantă.*

Turnarea directă sau în cădere (fig.3.35. a) asigură: umplerea liniştită a cavității formei; economie de material prin dimensionarea la minimum a rețelei de turnare; solidificarea dirijată de jos în sus. Un caz particular este alimentarea cu rețea în ploaie pentru piese înalte de tipul bucşelor (fig.3.35. b). Metoda prezintă ca dezavantaje erodarea formei de turnare prin curgerea topiturii, oxidarea materialului lichid, formarea picăturilor reci şi antrenarea unor particule din amestecul de formare. Se recomandă la turnarea pieselor din aliaje greu oxidabile (fontă, oțel, anumite bronzuri şi alame), cu configurație simplă.

Turnarea indirectă sau în sifon (fig.3.35. c) asigură umplerea liniştită, fără turbioane sau stropi reci. Are însă şi o serie de dezavantaje: nu se poate dirija solidificarea, datorită faptului că se produce încălzirea excesivă a unei zone a piesei; rețea de turnare de dimensiuni mari. Se recomandă la turnarea pieselor din aliaje uşor oxidabile, de importanță redusă.

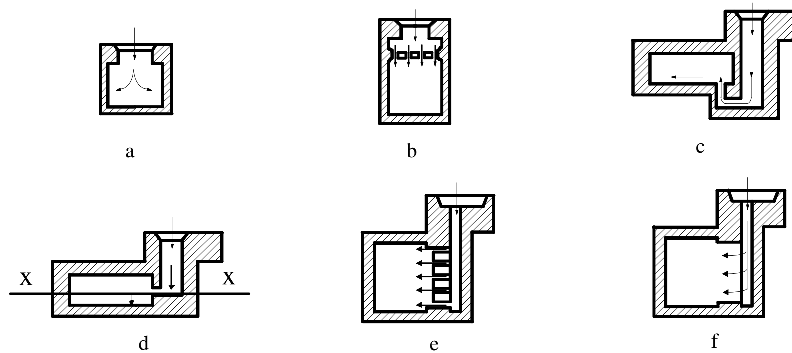


Fig. 3.35. Metode de turnare:
a - turnare directă; b - turnare cu rețea în ploaie; c - turnare indirectă (în sifon); d - turnare în planul de separație (x-x); e - turnare prin rețea etajată; f - turnare prin rețea în fantă.

Turnarea în planul de separaţie (fig.3.35. d) asigură execuţia uşoară a formei, reduce riscul oxidării materialului, permite solidificarea dirijată şi îmbină avantajele metodelor prezentate mai sus. Ca principale dezavantaje: nu se asigură întotdeauna o umplere rapidă a formei; solidificare neuniformă. Se recomandă la turnarea pieselor din materiale oxidabile, cu configuraţie simplă şi medie, de mărime mijlocie.

Turnarea prin reţea etajată (fig.3.35. e) asigură: umplerea rapidă a formei; solidificarea dirijată de jos în sus; limitarea oxidării şi a formării de stropi reci. Are o serie de dezavantaje ca: volum mare al reţelei de turnare şi formare laborioasă. Se recomandă la turnarea pieselor din orice fel de aliaje, de dimensiuni mari, cu grosimi mici de pereţi.

Turnarea prin reţea în fantă (fig.3.35. f) asigură: umplerea rapidă a formei; solidificarea dirijată; limitarea formării de stropi reci. Dezavantajele acestei metode decurg dintr-o formare laborioasă. Se recomandă la piese cu configuraţie complexă, de dimensiuni medii şi mari.

3.7.8. Turnarea în forme temporare din amestec de formare obişnuit

3.7.8.1. Turnarea în forme temporare în două rame

Schema de principiu a procedeului de turnare se prezintă în figura 3.36. Pentru realizarea piesei 1, prevăzută cu golul interior 2, se formează mai întâi semiforma inferioară 8, astfel: pe placa model 3 se poziţionează semimodelul inferior 5, prevăzut cu găuri de centrare, în interiorul ramei inferioare de formare 4. Împreună cu modelul piesei, în ramă se mai poate asambla şi o parte din modelul reţelei de turnare, cum ar fi semimodelul canalului de alimentare 16. Peste model se presară mai întâi un strat de pudră de izolaţie (nisip cuarţos foarte fin măcinat, care înlesneşte demularea, reducând pericolul deteriorării muchiilor cavităţii formei), urmat de amestecul de model 6, care se presează peste model, apoi volumul rămas liber din rama de formare se completează cu amestec de umplere 7, care se îndeasă manual sau mecanizat.

După formarea semiformei inferioare, aceasta se întoarce cu planul de separaţie în sus şi se asamblează semimodelul superior şi semirama superioară peste cea inferioară. Se pun modelele reţelei de turnare (15 pentru canalul de distribuţie, 17 pentru piciorul pâlniei de turnare, 18 pentru bazinul de turnare şi maselota 14). Semimodelele se asamblează cu ajutorul ştifturilor de centrare 13. După asamblarea modelului se face şi asamblarea ramelor de formare (inferioară 4 cu cea superioară 10) cu ajutorul bolţurilor de centrare 9. Asemănător se procedează apoi la executarea semiformei superioare 11.

După încheierea formării, se demontează semiformele în vederea extragerii modelului (demulării). Pentru aceasta modelul trebuie astfel conceput încât să permită demularea uşoară, fără a se deteriora forma de turnare (planul de separaţie

judicios ales, înclinări tehnologice ale suprafețelor perpendiculare pe planul de separație, elemente de agățare în planul de separație, de exemplu, găuri filetate). Golul interior al piesei 2 se execută cu ajutorul miezului 20, realizat prin presarea amestecului de miez (amestec de formare cu o permeabilitate crescută la gaze şi cu o rezistență ridicată la compresiune față de amestecul de formare obişnuit) în cutia de miez 19.

În vederea turnării propriu-zise, semiformele se pot usca (forme uscate) sau nu (forme crude), se acoperă cu vopsea refractară suprafețele care vor veni în contact cu aliajul lichid, se asamblează împreună cu miezurile şi se transferă în zona de turnare a secției.

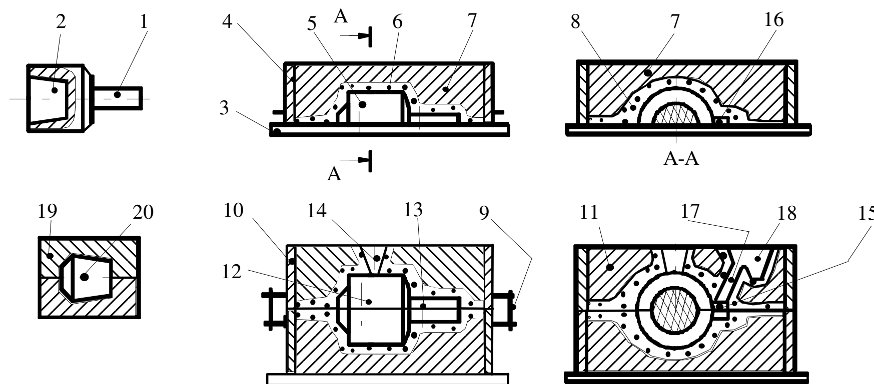


Fig. 3.36. Formarea în două rame:
1 - piesa; 2 - gol interior; 3 - placă model; 4 - rama inferioară; 5 - semimodel inferior; 6 - amestec de model; 7 - amestec de umplere; 8 - semiformă inferioară; 9 - bolțuri de centrare; 10 - ramă superioară; 11 - semiforma superioară; 12 - semimodel superior; 13 - ştifturi de centrare a semimodelelor; 14 - modelul maselotei; 15, 16 - semimodelele canalului de alimentare; 17 - modelul piciorului pâlniei; 18 - modelul bazinului de turnare; 19 - cutie de miez; 20 - miez.

La acest procedeu, cavitatea de turnare este executată din amestec de formare obişnuit, proprietățile mecanice şi de rezistență ale acesteia fiind date de proprietățile amestecului de formare. Proprietățile amestecului de formare depind de natura acestuia şi de modul de preparare al acestuia în vederea formării.

În general, amestecurile de formare şi de miez sunt alcătuite din trei componente principale (tabelul 3.13) şi anume:

- *granulele de nisip,* care au rolul masei de umplere, permițând: umplerea uşoară a ramei de formare, copierea detaliilor modelului, precum şi evacuarea uşoară şi reutilizarea amestecului folosit (după dezbaterea formei şi extragerea piesei solidificate);

- *liantul,* care are rolul masei de legătură, permițând: păstrarea configurației cavității formei în stare crudă, rezistența formei la contactul cu topitura, precum şi posibilitatea de a se dezbate uşor forma, în vederea extragerii piesei solidificate;

- *substanțele auxiliare,* care au rolul de a îmbunătăți selectiv anumite proprietăți ale amestecului de formare, în funcție de schema tehnologică. Acestea se adaugă în cantități mici în amestecurile de formare. Prepararea amestecurilor de formare cuprinde o succesiune de operații bine determinate şi se face în acord cu rețetele prevăzute în documentația tehnologică (fig.3.37).

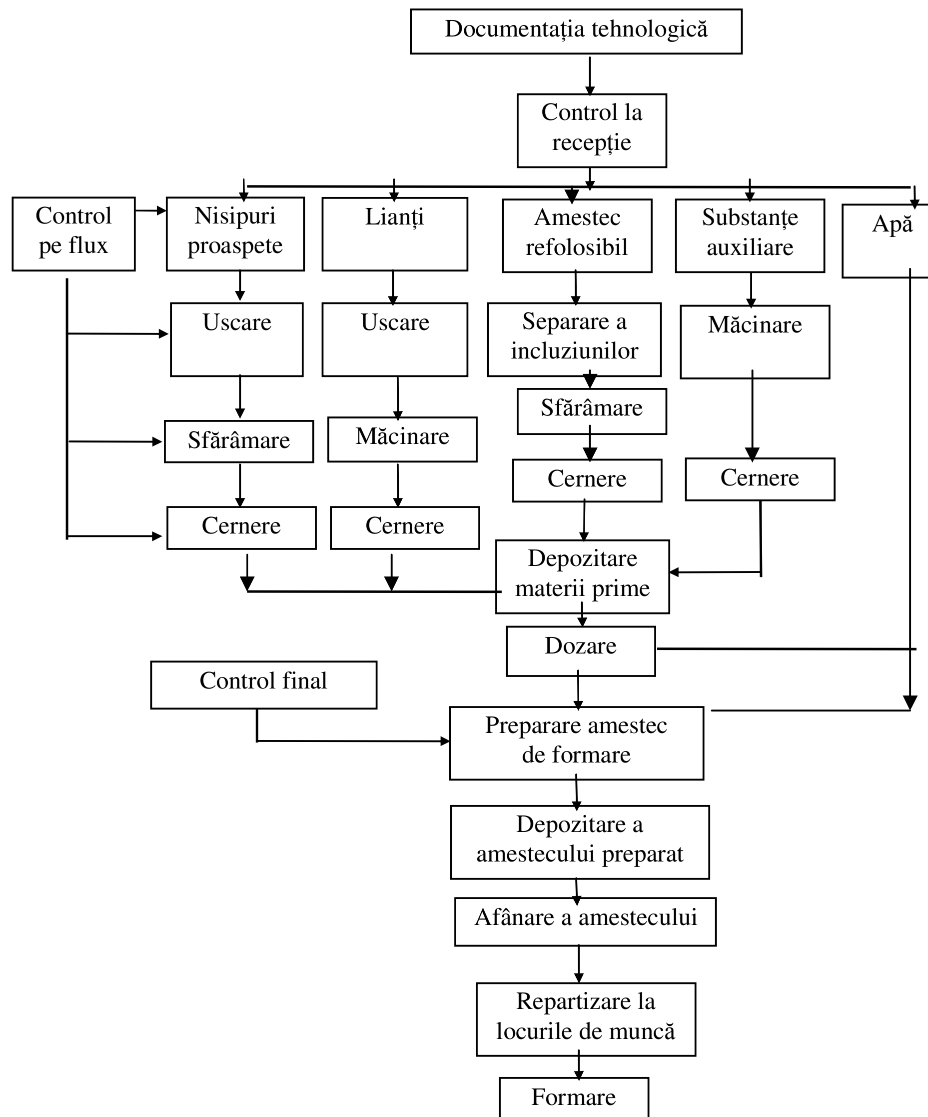


Fig. 3.37. Prepararea amestecurilor de formare.

Tabelul 3.13. *Materiale utilizate la fabricarea formelor temporare*

Mase de umplere		Lianți		Substanțe auxiliare	
Denumirea	Utilizări Observații	Denumirea	Utilizări Observații	Denumirea	Utilizări Observații
1	2	3	4	5	6
		Lianți anorganici naturali			
Nisipul cuarțos (baza SiO_2)	Piese mijlocii și mari, din oțel, fontă, neferoase	Argila refractară, baza caolinit	-La forme uscate; -Liant tradițional;	Adaosuri carbonice solide	-Contra aderențelor; -La turnarea în forme crude; -Formarea la presiuni înalte; -Ușurează dezbaterea;
Nisipul de zirconiu (baza $ZrSiO_2$)	-Permeabilitate ridicată; -Granulație foarte fină; -Refractaritate mare; -Dilatare redusă; -Forme cu solidificare dirijată;	Bentonita de turnătorie	-La forme crude; -Activare cu sodă;	Adaosuri carbonice lichide (uleiuri și emulsii)	-Reduc umiditatea; -Măresc fluiditatea amestecurilor; -Reduc degajarea prafului; -Ușureaza dezbaterea;
		Lianți anorganici sintetici			
Nisipul de cromit (baza $FeCr_2O_4$)	-Refractaritate ridicată; -La turnarea pieselor din oțel cu pereții groși >250mm; -Piese din oțeluri înalt aliate;	Cimentul Portland și cel aluminos	-În amestecurile cu autoîntărire hidraulică	Amidonul modificat (metgel)	-Întârzie uscarea amestecului crud; -La turnarea fontei, oțelurilor și neferoaselor grele; -Previne defectele; -Ușureaza dezbaterea
Nisipul de cromo-magnezină ($MgO+Cr_2O_3$)	-Material recuperat din captușeala cuptoarelor; -Refractaritate foarte bună;	Silicatul de etil $SiO_4(C_2H_5)_4$	-Liant; -La prepararea vopselelor refractare;	Stearatul de calciu	-Ca lubrifiant în amestecurile termoreactive; -Îmbunătățește fluiditatea rășinilor;
Nisipul de șamotă ($Al_2O_3SiO_2$)	-Forme stabile uscate; -Acumulare redusă a căldurii; -Refractaritate bună	Silicea coloidală	-Turnări de precizie; -Forme coji cu modele ușor fuzibile	Covalitul	-Îmbunătățește compresibilitatea amestecurilor; -Dezbaterea miezurilor; -Adaos la silicatul de sodiu;

Tabelul 3.13. *(continuare)*

1	2	3	4	5	6
Alicele de fontă	-La formele cu modele volatile; -Forme stabilizate în câmp electromagnetic;	Lianți organici sintetici			
		-Cu întărire la rece, prin: policondensare, polimeri-zare în trepte, polimerizare;	-Piese din fontă și oțel; -Întărire cu reactivi;	-Adaosuri celulozice (făina de lemn)	-Îmbunătățesc compresibilitatea amestecurilor;
		Cu întărire la cald: Novolacul	La formele coji cu liant termoreactiv;	Făina de cuarț (marşalita)	-Ca pudră de izolație; -La vopselele refractare
		Urelitul P	La piesele din fontă;	Talcul $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$	-Aditiv în amestecuri; -Bază în vopsele;
		Plastinolul	Întărire cu perborat de sodiu	Clorura (soluție apoasă de CaCl)	Accelerator de priză pentru ciment;
		Leşia sulfitică	–	Clorura de amoniu (NH_4Cl)	Reactiv la întărirea formelor coji cu modele uşor fuzibile;
		Dextrina	-Liant hidrofil; -La aliaje neferoase;	Oxidul de Fe	-Adaos la amestecurile de rășini; -Previne defectele;
		Melasa	-Îmbunătățește compresibilitatea miezurilor; -Accelerator de priza pentru ciment;	Cleiurile de turnătorie	Asamblarea prin lipire a miezurilor în forme;
		Colofoniul	Îmbunătățește compresibilitatea miezurilor	Chiturile	Repararea formelor cu liant de rășină;
				Pastele de etanșare	La asamblarea formelor

În cazul amestecurilor obişnuite de formare liantul folosit este argila, care, pentru mărirea plasticității, se foloseşte în stare umedă, cu până la 4% apă. După formare, pentru îmbunătățirea rezistenței mecanice şi a permeabilității formelor şi a miezurilor la gaze, ca şi pentru reducerea volumului gazelor degajate la contactul formelor cu topitura, se face eliminarea apei din liant prin uscarea formelor şi a miezurilor. Din punct de vedere economic, uscarea implică costuri suplimentare prin: prelungirea duratei de fabricație, investiții în utilaje şi instalații suplimentare, consumuri de combustibili şi energie, alocarea de resurse umane. Din această cauză, se utilizează, ori de câte ori este posibil, turnarea în forme crude (umede). Miezurile însă, datorită solicitărilor mai importante la care sunt supuse - compresiune - şi necesitatea de a prelua şi evacua rapid gazele din cavitatea formei, raportate la un volum restrâns de material, se prevăd a se folosi întotdeauna numai în stare uscată.

La contactul topiturii cu forma de turnare se formează pelicule de oxizi, care antrenate de topitură pot pătrunde în porii şi fisurile miezurilor şi pereților formei favorizând formarea aderențelor. Pentru a limita efectele peliculelor de oxizi se poate recurge la două soluții tehnologice, şi anume:

- utilizarea unor amestecuri de formare şi miezuire rezistente la pătrunderea oxizilor metalici, prin micşorarea porozității amestecului de formare (prin folosirea nisipurilor cu granulație fină sau prin introducerea în amestec a unei cantități de până la 25% de pudră de cuarț, care astupă interstițiile dintre granulele de nisip);

- utilizarea unui strat izolator între oxizii metalici şi materialul de formare care conduce la realizarea unei protecții gazoase la interfața topitură-peretele formei, ca urmare a combustiei vopselelor cu care se acoperă cavitatea formei sau prin protecție solidă, cu carbon lucios, depus în urma arderii prafului de huilă, adăugat în acest scop în masa amestecului de formare.

Proprietățile amestecurilor de formare şi de miez trebuie să le confere acestora o bună comportare pe parcursul întregului proces tehnologic, înlesnind: formarea, demularea, turnarea, solidificarea, răcirea, evacuarea gazelor, dezbaterea, refolosirea amestecului. De materialul sculei de turnare depinde nemijlocit nivelul calitativ al piesei obținute. Cele mai importante proprietăți sunt:

- *plasticitatea* – capacitatea materialului de a-şi modifica forma sub acțiunea forțelor externe, precum şi de a-şi menține această formă, la încetarea acțiunii forțelor (această proprietate înlesneşte formarea);

- *compresibilitatea* – capacitatea materialului de a se deforma sub acțiunea forțelor produse de contracția piesei la solidificare. Această proprietate duce la descărcarea tensiunilor interne din piesă şi la limitarea apariției defectelor la solidificare;

- *permeabilitatea* – capacitatea materialului de a permite trecerea gazelor dinspre piesă spre exteriorul formei;

- *refractaritatea* – capacitatea materialului de a-şi păstra stabilitatea la temperaturile înalte generate de topitură, fără să se vitrifieze sau să reacționeze cu

oxizii aliajului;

- *rezistența mecanică* – capacitatea amestecului de a-şi menține forma pe durata manevrării, transportului şi turnării aliajului şi de a rezista la toate solicitările care apar.

3.7.8.2. Turnarea în forme temporare în solul turnătoriei

Se aplică în cazul turnării pieselor mari şi grele (zeci de metri, sute de tone), când nu se pot folosi rame de turnare. Precizia şi calitatea suprafețelor sunt slabe.

Formarea se poate face cu modele masive, cu modele demontabile sau cu şabloane. Formarea cu şabloane reduce timpul afectat realizării unor modele complicate, prin înlocuirea modelelor tridimensionale cu plăci şablon bidimensionale, care se deplasează în mişcare de rotație sau de translație în raport cu forma. Formarea cu şabloane se poate utiliza în cazul turnării pieselor mari şi medii, atât la formarea în rame, cât mai ales, la formarea în sol (fig. 3.38).

În solul turnătoriei 1, se sapă groapa 2, de adâncime corespunzătoare (cu 250…300 mm mai adâncă decât înălțimea maximă a modelului). Pe fundul gropii se aşează mai întâi un strat de cocs metalurgic 3, de grosime 80…100 mm, în care se instalează 2…6 țevi 5, care au drept scop evacuarea gazelor. Gazele sunt colectate în stratul de cocs. Între stratul de cocs şi amestecul de umplere 6 a formei, se aşează rogojina 4, ca suprafață de separație, permeabilă la gaze.

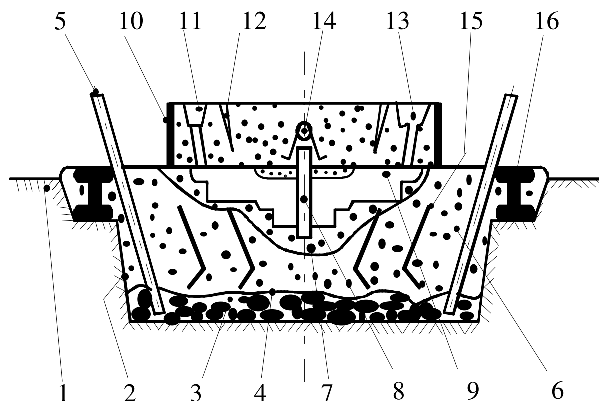


Fig. 3.38. Schema de principiu a formării în solul turnătoriei:
1 - solul turnătoriei; 2 - groapă; 3 - strat de cocs metalurgic; 4 - rogojină; 5 - țevi pentru evacuarea gazelor; 6 - amestec de formare; 7 - amestec de model; 8 - miezuri; 9 - cavitatea formei; 10 - ramă capac; 11 - maselotă; 12 - canale de aerisire; 13 - pâlnia de turnare; 14 - armături pentru întărirea capacului; 15 - armături pentru susținerea piesei; 16 - armături pentru susținerea căilor de acces.

Amestecul de umplere din rama capac 10 este armat cu profilele metalice 14, care au drept scop susținerea greutății ramei capac 10 şi a piesei. Un scop

similar au profilele 16 şi grinzile de susținere a căii de acces spre zona de turnare. Realizarea cavității formei 9 se face din amestecul de model 7, cu modele sau cu şabloane. Pentru piesele grele, se utilizează modele demontabile, iar pereții cavității formei trebuie consolidați prin armare. Pentru piesele cu goluri interioare, se prevăd miezurile 8, rezemate pe mărcile modelului. Rețeaua de turnare se realizează în rama capac. Rețeaua de turnare este compusă din: pâlnia de turnare 13, maselota 11 şi canalele de aerisire 12 pentru evacuarea gazelor.

Acest procedeu de turnare implică un mare volum de muncă, se execută manual sau numai parțial mecanizat, pentru pregătirea formei de turnare. Folosirea procedeului este justificată numai în cazul pieselor unicat, grele, cu adaosuri de prelucrare relativ mari, precum: batiuri, montanți, traverse, grinzi, mese, carcase, roți, statui etc.

3.7.8.3. Turnarea în miezuri

Se utilizează atunci când nu se poate alege un plan de separație convenabil pentru model sau la piesele mari, când nu se poate executa formarea mecanizată.

Procedeul implică înlocuirea modelului cu cutii de miez (dezavantaj dat de dificultatea mai mare de execuție a acestora) şi a amestecului de formare obişnuit cu amestec de miezuri (dezavantaj datorită costului mai ridicat al acestui tip de amestec).

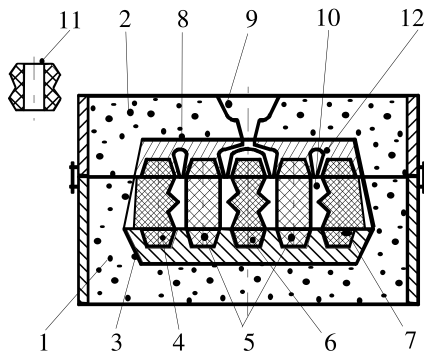


Fig. 3.39. Turnarea în miezuri:
1 - semiforma inferioară; 2 - semiforma superioară; 3 - miez de bază; 4 - miez lateral dreapta; 5 - miez interior; 6 - miez perete interior; 7 - miez lateral stânga; 8 - miez capac; 9 - pâlnia de turnare; 10 - cavitatea generatoare a piesei; 11 - piesa; 12 - maselote.

Precizia şi calitatea suprafețelor formei astfel realizate sunt mai bune față de cea a formelor din amestec obişnuit şi implicit calitatea piesei turnate va creşte (precizia dimensională: ±0,9..1,0mm, rugozitatea: R_a< 25µm).

Metoda se utilizează curent la piesele pretențioase, precum: blocurile motor, corpurile de pompe, roțile dințate etc.

Configurația externă, precum şi cea internă a piesei se obțin prin asamblarea, într-o succesiune logică, a unor miezuri, de formă şi dimensiuni corespunzătoare. De exemplu, pentru realizarea piesei din figura 3.39, se asamblează în rama inferioară 1, în ordine, miezurile: 3, 4, 5, 6, 7 şi 8; ulterior, rama se umple cu amestec de formare obişnuit pentru a se asigura rigiditatea formei asamblate în vederea turnării.

Rețeaua de turnare 9 este dispusă în rama superioară 2, astfel încât să se

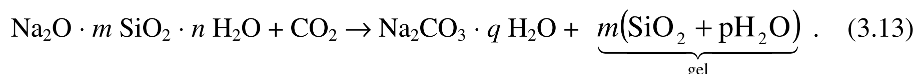
asigure corespondența cu canalele de distribuție şi de alimentare din miezul capac superior 8. Miezurile de tip 5 sunt destinate realizării configurației interne a pieselor, în timp ce miezurile de tip 4, 6 şi 7 realizează configurația exterioară; miezurile de tip 4 şi 7 au şi rolul de a închide lateral cavitatea de turnare. Se obțin două piese identice la o singură turnare.

3.7.9. Turnarea în forme temporare din amestec de formare special

Se consideră amestec de formare special acel amestec pregătit cu un liant special, care conferă amestecului proprietăți superioare şi cavității de turnare rezistență mecanică foarte bună. Cea mai largă utilizare în turnătorii o au următoarele procedee de turnare cu amestec de formare special: turnarea în forme întărite cu CO_2, turnarea în forme coji cu liant termoreactiv, turnarea în forme coji cu modele uşor fuzibile.

3.7.9.1. Turnarea în forme întărite cu CO_2

Acest procedeu utilizează la realizarea formelor de turnare un amestec de formare special, alcătuit din nisip cuarțos şi liant reactiv, care se întăreşte în mediu de dioxid de carbon, conform reacției chimice



$$Na_2O \cdot m\,SiO_2 \cdot n\,H_2O + CO_2 \rightarrow Na_2CO_3 \cdot q\,H_2O + \underbrace{m\left(SiO_2 + pH_2O\right)}_{\text{gel}} . \quad (3.13)$$

Produsul de reacție, $m(SiO_2 + pH_2O)$, este un gel de silice, care leagă granulele de nisip cuarțos, realizând întărirea ameste-cului de formare.
Întărirea amestecului se face înaintea demulării, prin insuflarea gazului de reacție direct în forma de turnare (fig.3.40).

Placa model 1 este prevăzută cu găurile 2, pentru insuflarea CO_2. Această placă model se asamblează etanş cu şuruburile 7 pe rezervorul de gaz 12, care este alimentat de la sursa 13 de CO_2. Peste placa model se montează rama de formare3, prevăzută cu suprafețele de etanşare 4 şi 5. Rama se umple cu amestec de formare special 6, umplerea putându-se face manual sau mecanizat. După umplere şi îndesare rama se închide cu capacul 8, fixat cu şuruburile 9. Capacul este prevăzut cu coşul de evacuare 10, destinat eliminării excesului de CO_2. Pentru solidificarea formei se crează un flux de CO_2 în interiorul ramei de formare. Demularea se face după întărirea amestecului.

Procedeul se utilizează la obținerea pieselor de precizie ridicată, în producția de serie mare şi masă, permițând economisirea amestecului de formare (forma se consolidează la o grosime mai mică a peretelui decât cea din amestec obişnuit, pentru o aceeaşi piesă turnată).

Ca dezavantaje ale procedeului se pot menționa: dificultatea reutilizării

amestecului de formare (necesită concasare şi cernere); necesită folosirea de plăci model, modele, rame de formare şi capace speciale.

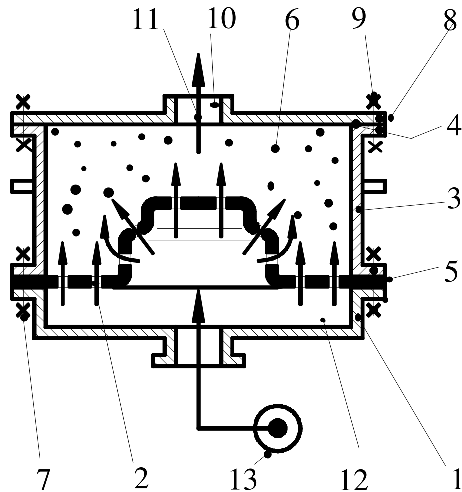


Fig. 3.40. Principiul formării cu amestec întărit cu CO_2:
1 - placa model; 2 - găuri pentru insuflarea CO_2; 3 - rama de formare; 4, 5 - suprafețe de etanşare; 6 - amestec de formare special; 7 - şuruburi; 8 - capac; 9 - şuruburi; 10 - coş de evacuare; 11 - surplus de gaz; 12 - rezervor de gaz; 13 - sursa de gaz.

3.7.9.2. Turnarea în forme coji

Aceste procedee de turnare utilizează forme cu pereți subțiri, denumite uzual *coji,* de grosime 3…5 mm, realizate din amestecuri de formare speciale, care se întăresc rapid înainte de demulare.

Formele coji preiau avantajele oferite de turnarea în forme întărite cu CO_2 şi, în plus, folosesc cantități mult mai reduse de amestec de formare special.

În vederea turnării, formele coji sunt asamblate în rame de formare obişnuite, împachetându-se în amestec de umplere pentru mărirea rigidității şi a rezistenței mecanice a peretelui cavității de turnare.

Cele mai utilizate procedee de turnare în forme coji sunt:

- turnarea în forme coji cu liant termoreactiv;
- turnarea în forme coji cu modele uşor fuzibile.

Turnarea în forme coji cu liant termoreactiv. Amestecul de formare special este alcătuit din nisip cuarțos cu granulație fină şi din liant special termoreactiv (răşini sintetice: bachelită, novolac). Liantul are proprietatea că se topeşte la 80…90°C şi se solidifică ireversibil la 100….180°C.

Procedeul include următoarele etape de lucru (fig.3.41), care se desfăşoară în ciclu de lucru automatizat:

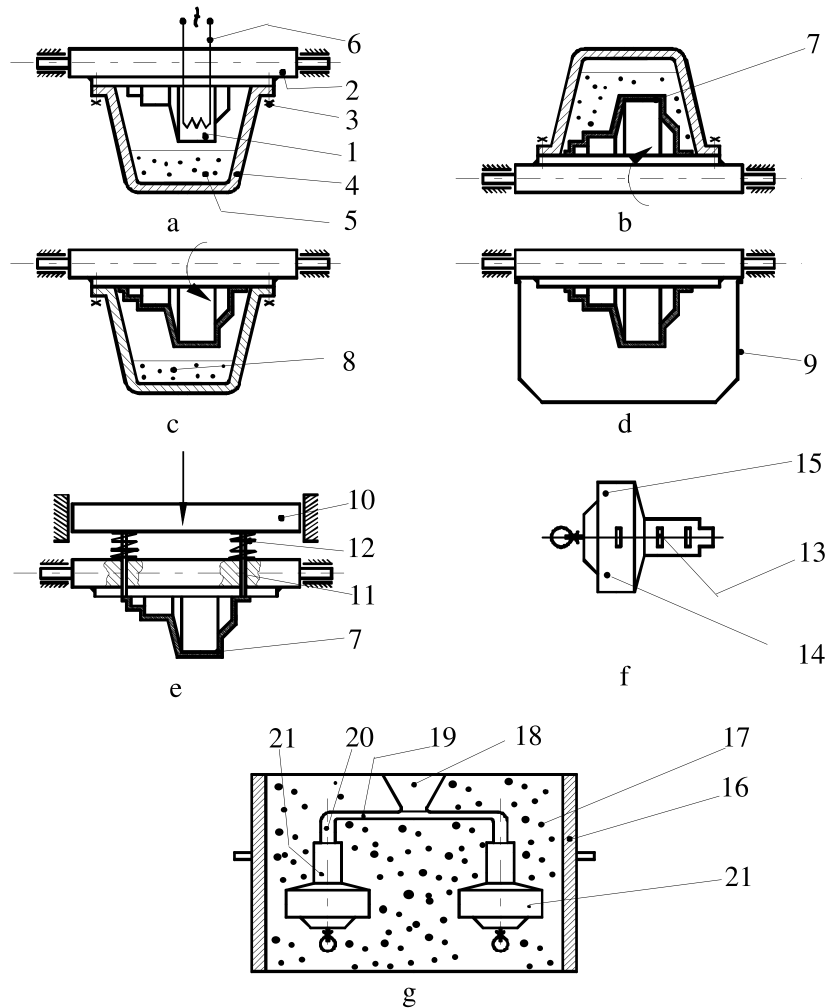


Fig. 3.41. Realizarea formelor coji cu liant termoreactiv:
a - încălzirea modelului; b - contactul cu amestecul de formare special; c - formarea cojii; d - coacerea formei coajă; e - extragerea formei coajă; f - asamblarea semiformelor coajă; g - împachetarea şi pregătirea în vederea turnării; 1 - placă model; 2 - masă rabatabilă; 3 - şuruburi; 4 - buncăr cu amestec de formare; 5 - amestec cu liant termoreactiv; 6 - circuit de încălzire a plăcii model; 7 - forma coajă solidificată; 8 - surplus de amestec de formare; 9 - cuptor pentru coacerea formei; 10 - cap extractor; 11 - tije pentru demulare; 12 - arcuri; 13 - cleme elastice; 14, 15 - semiforme; 16 - ramă de formare; 17 - material de împachetare a formelor; 18, 19, 20 - reţea de turnare; 21 - forme asamblate.

1- încălzirea plăcii model - se fixează placa model 1 pe masa rabatabilă a maşinii de format 2. Peste placa model se asamblează cu şuruburile 3 buncărul 4,

care conține amestecul de formare cu liant termoreactiv 5, iar cu ajutorul circuitului de încălzire cu rezistențe 6 se încălzeşte placa model până la 250…300°C;

2 - realizarea formei coji - masa rabatabilă este basculată aducându-se amestecul de formare 5 în contact cu suprafața încălzită a plăcii model. În acest moment, liantul mai întâi se topeşte şi apoi se solidifică, formându-se pe suprafața plăcii-model forma coajă 7;

3 - îndepărtarea surplusului de amestec - masa rabatabilă este readusă în poziția inițială, astfel încât surplusul de amestec de formare 8, care nu a fost liat, să poată cădea înapoi în buncăr;

4 - întărirea formei coajă - se face prin coacerea formei (care nu a fost demulată) în cuptorul 9, la 300…350°C;

5 - demularea - se demontează mai întâi buncărul 4, de pe placa model 1, apoi de masa maşinii de format se apropie capul extractor 10, care prin intermediul tijelor 11 şi a arcurilor 12 execută demularea formei coajă de pe placa model;

6 - asamblarea formei de turnare - semiformele 14 şi 15 se asamblează fixându-se cu clemele elastice 13. Se pot asambla mai multe forme 21, la o rețea comună de turnare 18, 19, 20; se pot utiliza şi miezuri coajă pentru realizarea golurilor interioare, confecționate din acelaşi tip de amestec de formare, prin procedeul de suflare în cutii de miez metalice încălzite la 250°C;

7 - împachetarea formei asamblate - mai multe forme asamblate 21 se împachetează pentru mărirea rezistenței mecanice a pereților formei, în amestec de formare obişnuit, nisip sau alice din fontă 17, în rama de formare sau în cutia de împachetare 16.

Procedeul se utilizează la obținerea pieselor de precizie şi calitate ridicată a suprafeței, în producția de serie mare şi masă. Piesele pot fi de mărime mică şi medie, cu o configurație simplă, cu un singur plan de separație. Suprafețele pieselor turnate sunt foarte curate şi productivitatea este ridicată.

Dezavantajele procedeului sunt: dificultatea reutilizării amestecului de formare (necesită concasare şi cernere); necesită folosirea de dispozitive şi maşini de formare speciale; greutatea limitată a pieselor şi costul ridicat al liantului.

Turnarea în forme coji cu modele uşor fuzibile. Specific pieselor realizate prin acest procedeu de turnare este absența planului de separație, datorită faptului că nu este necesară demularea (modelul este extras din cavitatea formei prin lichefiere, de aceea procedeul este denumit turnarea cu „modele pierdute”). Procedeul are o mare accesibilitate, deoarece el nu necesită maşini sau utilaje specifice.

Execuția formelor cu modele uşor fuzibile cuprinde următoarele faze (fig.3.42):

1 - executarea modelului fuzibil - pentru turnarea piesei 1 se realizează mai întâi o matriță metalică 2, în care se toarnă ceară pentru fabricarea modelului uşor fuzibil. Matrița cuprinde: cavitatea dată de forma piesei 3, cavitatea tehnologică a inelului de înciorchinare 5, miezul 4 şi canalul de alimentare 6;

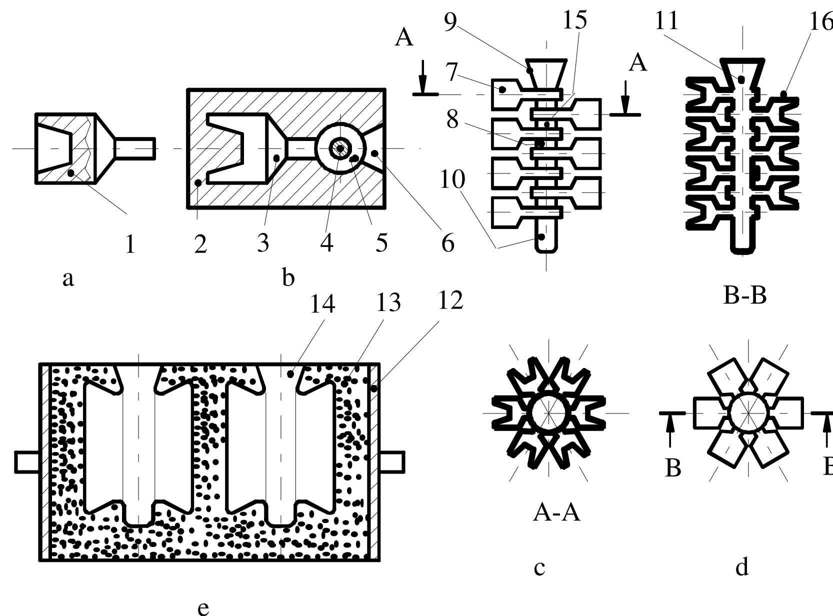
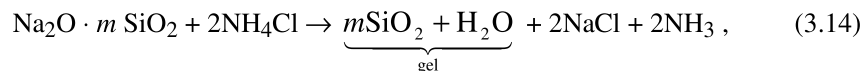


Fig. 3.42. Execuția formelor cu modele ușor fuzibile:
a - piesa de turnat; b - matrița; c - modelul asamblat; d - forma coajă; e - împachetarea şi pregătirea în vederea turnării; 1 - piesa; 2 - matrița modelului; 3 - cavitatea formei piesei; 4 - miez; 5 - cavitatea inelului de înciorchinare; 6 - canal de alimentare; 7 - modelul piesei individuale; 8 - modelul rețelei de turnare; 9 - modelul pâlniei de turnare; 10 - piciorul rețelei de turnare; 11 - pâlnia de turnare; 12 - cutia de împachetare; 13 - nisip cuarțos sau alice de fontă; 14 - cavitate de turnare; 15 - tija de înciorchinare; 16 - peretele formei coajă.

2 - asamblarea modelului - pe o tijă metalică de înciorchinare 15 se asamblează modelele pieselor individuale 7, realizate prin turnarea materialului uşor fuzibil în matrița 2. Împreună cu acestea se asamblează modelul rețelei de turnare 8; modelul complet asamblat 9 are aspectul unui ciorchine, datorită faptului că modelele pieselor sunt poziționate în jurul piciorului rețelei de turnare 10;

3 - realizarea formei coji - modelul asamblat se pregăteşte în prealabil prin degresare într-o baie cu 5% soluție de săpun, după care este cufundat într-o baie cu vopsea refractară (50% nisip cuarțos fin măcinat şi 50% silicat de sodiu $Na_2O \cdot m\ SiO_2$ ca liant). Pentru formarea cojii, modelul se presară apoi cu nisip cuarțos. Solidificarea liantului din vopseaua refractară se face prin cufundarea cojii într-o baie cu 24% soluție de NH_4Cl, în urma reacției chimice



$$Na_2O \cdot m\ SiO_2 + 2NH_4Cl \rightarrow \underbrace{mSiO_2 + H_2O}_{\text{gel}} + 2NaCl + 2NH_3\ , \qquad (3.14)$$

unde $m\ SiO_2 + H_2O$ este sub formă de gel.

Pentru a se obține o rezistență mecanică satisfăcătoare este necesară repetarea de 3…6 ori a operațiilor de depunere a stratului refractar. După depunerea straturilor succesive se face astuparea șanțurilor, găurilor şi fisurilor şi completarea straturilor discontinue a formei coajă;

4 - demularea - se extrage mai întâi tija de înciorchinare, apoi se încălzeşte forma în abur sau aer cald la 60…120°C pentru topirea modelului. Amestecul uşor fuzibil se recuperează, urmând a fi refolosit;

5 - uscarea formelor - se face după un ciclu de lucru bine determinat, prin încălzirea progresivă şi menținerea formei între 50…250°C, conform diagramei din figura 3.43;

6 - calcinarea formelor - se face prin arderea formelor coji în cuptor în scopul consolidării crustei. Ciclul de calcinare poate fi de forma din figura 3.44;

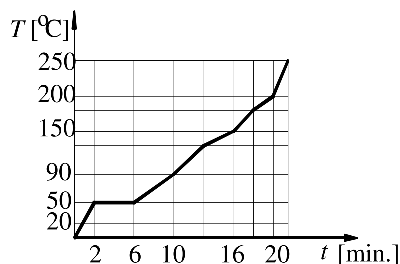


Fig. 3.43. Ciclul de uscare a formelor coji.

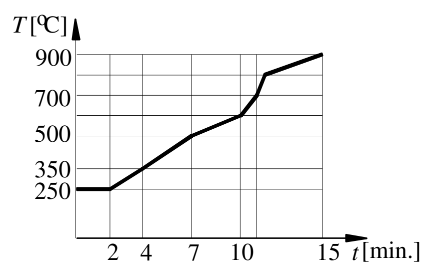


Fig. 3.44. Ciclul de calcinare a formelor coji.

7 - împachetarea formelor - în vederea turnării, formele coji se împachetează în amestec de formare obişnuit, în nisip sau în alice din fontă, în interiorul unei rame de formare sau unei cutii de împachetare, similar cu etapa corespunzătoare de la formele cu liant termoreactiv;

8 - preîncălzirea formelor în vederea turnării - turnarea se face în forme preîncălzite la 700°C.

Exemple de piese tipice a fi obținute prin acest procedeu sunt: piese de mecanică fină pentru maşini de scris şi de cusut, mecanisme de arme, instrumente medicale, piese de tehnică dentară, palete de turbină, ghiduri de undă, came, clicheți, roți dințate, pârghii etc.

3.7.10. Procesul tehnologic de obținere a unei piese prin turnare în forme temporare (în rame, în solul turnătoriei, în miezuri, în forme coji)

După cum s-a arătat anterior, în figura 3.17, documentația tehnologică de execuție a unei piese prin turnare în forme temporare trebuie să conțină în mod obligatoriu descrierea proceselor importante, care contribuie nemijlocit la obținerea unor piese de calitate. Acestea sunt:

- elaborarea aliajului de turnare;
- realizarea formei de turnare;
- turnarea propriu-zisă;
- controlul parametrilor de calitate pe flux şi final;
- tratatamentele aplicate pieselor după solidificare;
- remanierea pieselor cu defecte de turnare.

La rândul său, descrierea fiecărui proces trebuie să precizeze:

- mijloacele de lucru utilizate (maşini, instalații, utilaje, SDV-uri, AMC-uri);
- modul de lucru (succesiunea şi structura operațiilor, norma de timp);
- metoda de lucru (parametrii de regim);
- nivelul de competență necesar (categoria profesională de încadrare);
- materialele folosite (materii prime, auxiliare, consumabile, energie).

3.7.10.1. Rentabilitatea proceselor de turnare în forme temporare

În funcție de metoda de formare utilizată, turnarea în forme temporare poate constitui un mijloc eficient de producție pentru orice cantitate de piese (unicate, serie, masă).

După cum s-a arătat anterior, formarea se poate face manual, semimecanizat, mecanizat, parțial sau total automatizat. În cazul producției de unicate, un atelier de turnătorie cu o dotare minimă poate oferi soluția cea mai economică. Pentru piese realizate în producția de masă, cum ar fi piesele de automobil, sunt necesare sisteme de producție complet automatizate.

În costul pieselor turnate sunt incluse costurile de amortizare ale modelelor, manoperei, materialelor, energiei şi regiei secției.

Un model confecționat din lemn este mai ieftin decât unul din metal, dar cheltuielile lui de amortizare, raportate la numărul de piese realizate, poate reveni mai mare pe unitatea de produs decât cheltuielile de amortizare ale modelului metalic similar, utilizat în cazul unei producții de serie mare.

Realizarea prin turnare a pieselor în producția de unicate şi serie mică poate fi mai costisitoare cu până la de 10 ori decât în cazul realizării aceleiaşi piese în producția de serie mare şi masă.

Turnarea în două rame, cu plan de separație, va fi întotdeauna mai scumpă decât turnarea în forme monobloc, raportul costurilor putând ajunge până la 4:1.

Pentru întocmirea devizului unei piese turnate proiectantul trebuie întotdeauna să evalueze masa piesei. Toate costurile turnătoriei trebuie raportate la masa pieselor turnate.

În cazul turnării în forme coji cu modele uşor fuzibile costul ridicat al modelelor poate fi redus prin realizarea matriței pentru modelul de ceară prin turnare sau prin depunere prin metalizare la temperaturi joase, procedee mai ieftine ca prelucrările mecanice. În aceste condiții, turnarea în forme coji devine mai

rentabilă în producția de serie mică şi de unicate decât turnarea în forme temporare cu pereți groşi.

În producția de serie mare şi masă, cheltuielile implicate de utilizarea procedeului de turnare în forme coji cu modele uşor fuzibile tind să le depăşească pe cele ale altor procedee alternative de realizare a pieselor, cum ar fi turnarea sub presiune sau metalurgia pulberilor, deoarece pretinde un volum mai mare de manoperă şi un consum mai mare de materiale la realizarea formelor. Excepție fac cazurile în care piesele sunt deosebit de complexe şi nu se pot prelucra prin alte procedee.

3.7.10.2. Realizarea formei de turnare

Documentația tehnologică referitoare la forma de turnare trebuie să conțină:

- desenul piesei brut turnate;
- desenul modelului asamblat (piesa brut turnată + rețeaua de turnare + maselotele);
- fişa tehnică a amestecului de formare;
- fişa tehnică a amestecului de miez;
- fişa tehnică privind realizarea formelor.

Desenul piesei brut turnate se întocmeşte ținând cont de adaosurile şi recomandările specificate în subcapitolul 3.7.2. Pe de altă parte, forma piesei turnate trebuie să țină seama şi de unele cerințe constructive care decurg din specificitatea procedeului de turnare ales.

Pentru piesele turnate în forme temporare uzuale se recomandă a se ține cont de următoarele:

- **-** planul de separație este economic să fie un plan drept, cu un contur simplu;
- **-** adaosurile de înclinare cu cât sunt mai pronunțate, cu atât scade costul modelului şi al formării;
- **-** amplasarea maselotelor să se facă în zonele cele mai groase ale piesei. Toate celelalte zone ale piesei trebuie să fie mai subțiri pentru a se putea solidifica mai repede (fig.3.45);
- **-** nervurile şi pereții interiori permit creşterea rigidității piesei la o creştere minimă a masei acesteia. În zona de racordare a nervurilor sau a pereților interiori nu trebuie să rezulte o acumulare de material care să constituie noduri termice (fig.3.46);
- **-** numărul de nervuri sau pereți interiori care se intersectează într-un singur punct trebuie să fie cât mai mic, pentru a se evita întârzierea solidificării şi apariția retasurilor interne (fig.3.47);
- **-** colțurile şi muchiile - părțile exterioare ale pieselor turnate se răcesc primele, solidificarea propagându-se de la exterior spre interior. În aceste condiții,

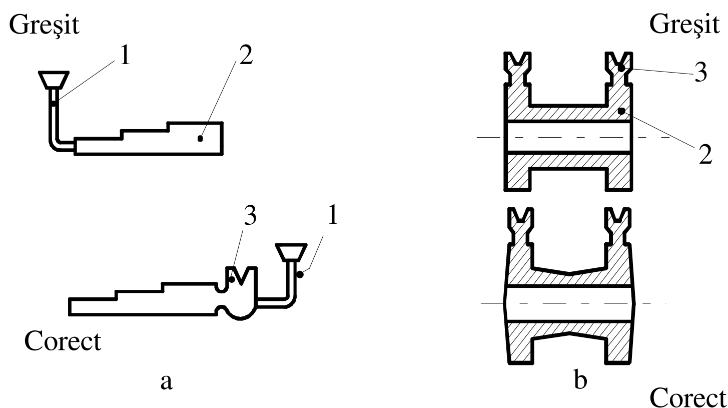


Fig. 3.45. Amplasarea maselotelor:
a - piesă în trepte; b - bucşă cilindrică; 1 - piesa de turnare; 2 - partea groasă a piesei; 3 - maselota.

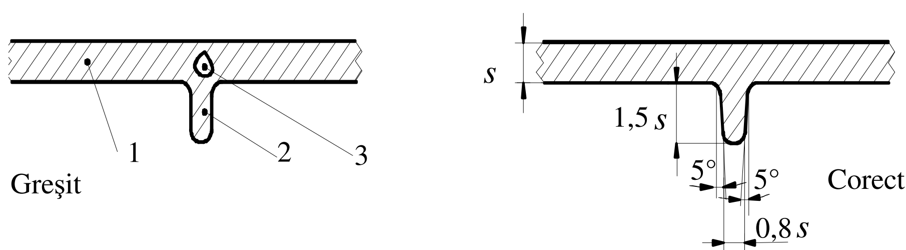


Fig. 3.46. Construcția nervurilor:
1 - peretele piesei; 2 - nervura; 3 - nod termic.

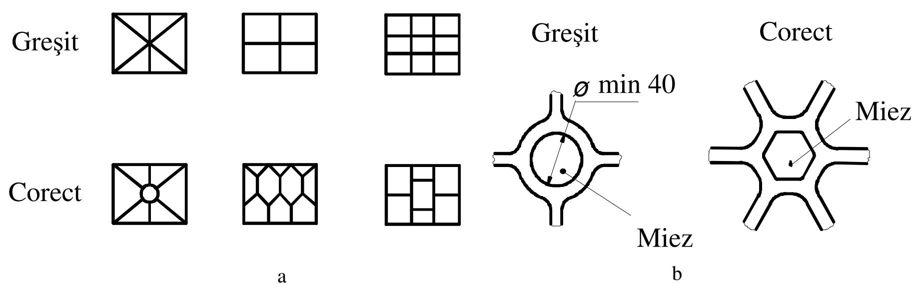


Fig. 3.47. Construcția zonelor de intersecție:
a - limitarea numărului de pereți; b - eliminarea intersecției în cruce printr-un miez central.

partea externă a colțurilor şi muchiilor radiază căldura bidirecțional răcindu-se Mai rapid decât zona interioară corespondentă, care este izolată termic pe două laturi prin amestecul de formare, de aceea se recomandă rotunjirea pe ambele fețe ale

muchiilor şi colțurilor, preferabil având acelaşi centru de curbură şi menținând grosimea uniformă a peretelui (fig.3.48);

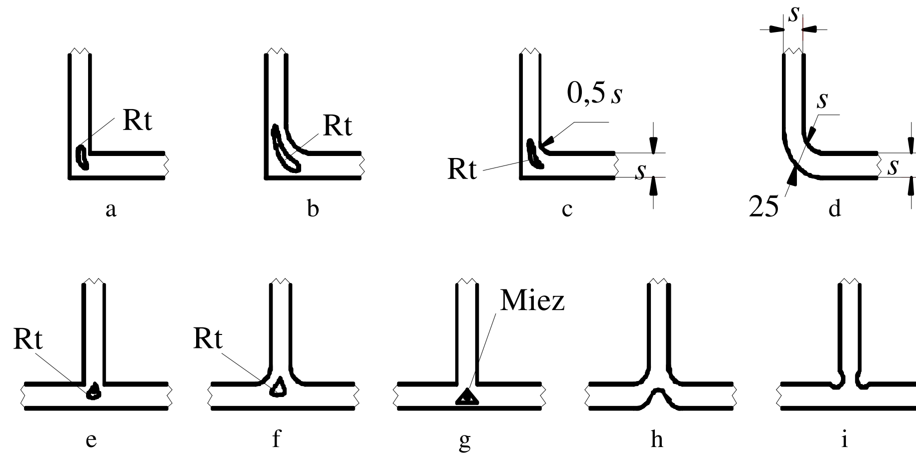


Fig. 3.48. Construcția colțurilor (intersecției pereților în „L"):
a - muchii ascuțite; b - raza mare de rotunjire duce la modificarea grosimii peretelui şi la mărirea volumului retasurii; c - raza de rotunjire numai pe fața interioară reduce efectul nodului termic dar nu îl elimină; d - soluția cea mai favorabilă; e - în cazul unei intersecții în „T" retasura apare tot în nodul termic; f - rotunjirea racordărilor interioare duce la sporirea efectului prin creşterea volumului nodului termic; g - reducerea volumului nodului termic prin folosirea miezurilor (soluție costisitoare); h,i - soluție favorabilă şi economică: păstrarea constantă a grosimii peretelui prin racordări interioare şi exterioare; Rt - retasură.

- unghiurile - efectul nodului termic creşte cu cât unghiurile muchiilor sunt mai ascuțite (fig.3.49);

- intersecțiile de pereți trebuie să se facă după unghiuri drepte, spre a se evita îngroşarea peretelui şi formarea nodurilor termice (fig.3.50);

- grosimea peretelui piesei trebuie să fie cât mai uniformă, raportul secțiunilor nu trebuie să depăşească valoarea 1:2, trecerile trebuie să se facă progresiv, fără treceri bruşte (fig.3.51);

- grosimea pereților interiori trebuie aleasă cu circa 20% mai mică decât a celor exteriori, deoarece ei se răcesc mai lent;

- înclinările pereților - se prevăd în scopul facilitării demulării modelului şi a dezbaterii piesei. Cu cât adâncimea cavității este mai mare, cu atât creşte înclinarea (fig.3.52);

- dimensiunile locaşurilor prismatice trebuie să fie în raportul 1:1,5 dacă sunt situate în semiforma inferioară, respectiv de 1:1 dacă sunt situate în semiforma superioară, pentru a înlesni demularea, în special la formele crude;

- găurile mai mici de ∅ 20 mm nu se vor realiza prin turnare cu miezuri. Este mai economică prelucrarea ulterioară, prin găurire (fig.3.53. a);

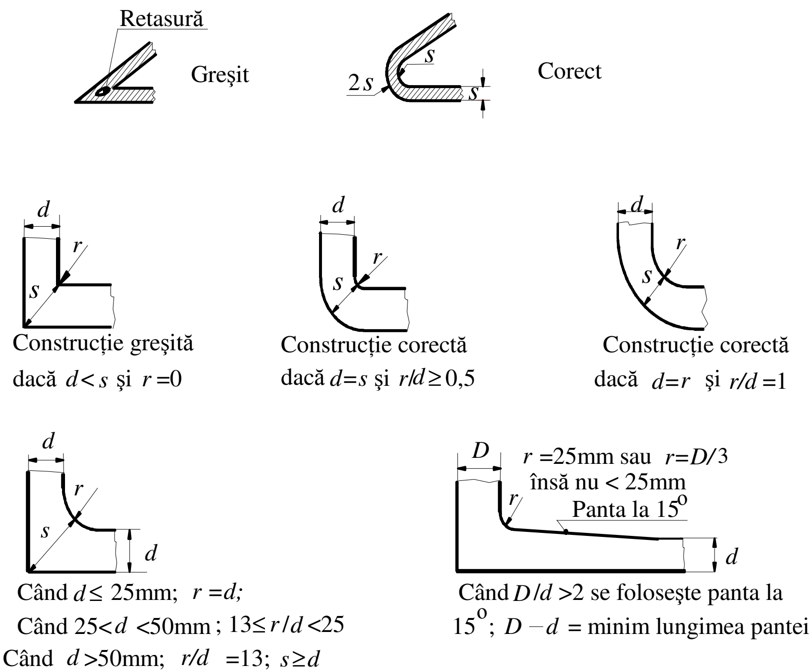


Fig. 3.49. Rotunjirea colţurilor.

- zonele cu găuri străpunse trebuie întărite folosind bosajele, deoarece ele constituie concentratori de tensiuni (fig.3.53. b);

- zonele cu bosaje sau proeminenţe nu trebuie să constituie factori favorizanţi pentru apariţia nodurilor termice (fig.3.54);

- utilizarea miezurilor trebuie limitată la strictul necesar, deoarece complică forma de turnare, măresc numărul operaţiilor şi cresc costurile. Evitarea miezurilor se poate face, de exemplu, prin eliminarea ,,zonelor de subtăiere" (fig.3.55).

Trebuie evitată folosirea miezurilor în zone ale pieselor de unde nu pot fi uşor dezbătute, cum ar fi găurile de diametre mici şi lungimi mari (secţiuni groase), unde se dezvoltă tensiuni mari la solidificare (fig.3.56). Diametrele minime ale miezurilor sunt date în figura 3.57.

La amplasarea miezurilor trebuie să se aibă în vedere şi construirea unor găuri speciale de ventilaţie în pereţii piesei, pentru a permite evacuarea gazelor (fig.3.58):

- inscripţionările - trebuie să fie prevăzute în poziţie paralelă cu planul de separaţie, astfel încât să se permită formarea cu model. Date precum: data execuţiei, marca turnătoriei, numărul formei, numere de serie, trebuie să apară pe piesele turnate, dispuse în zone care să nu fie ulterior prelucrate (inscripţionările pot fi în relief sau gravate);

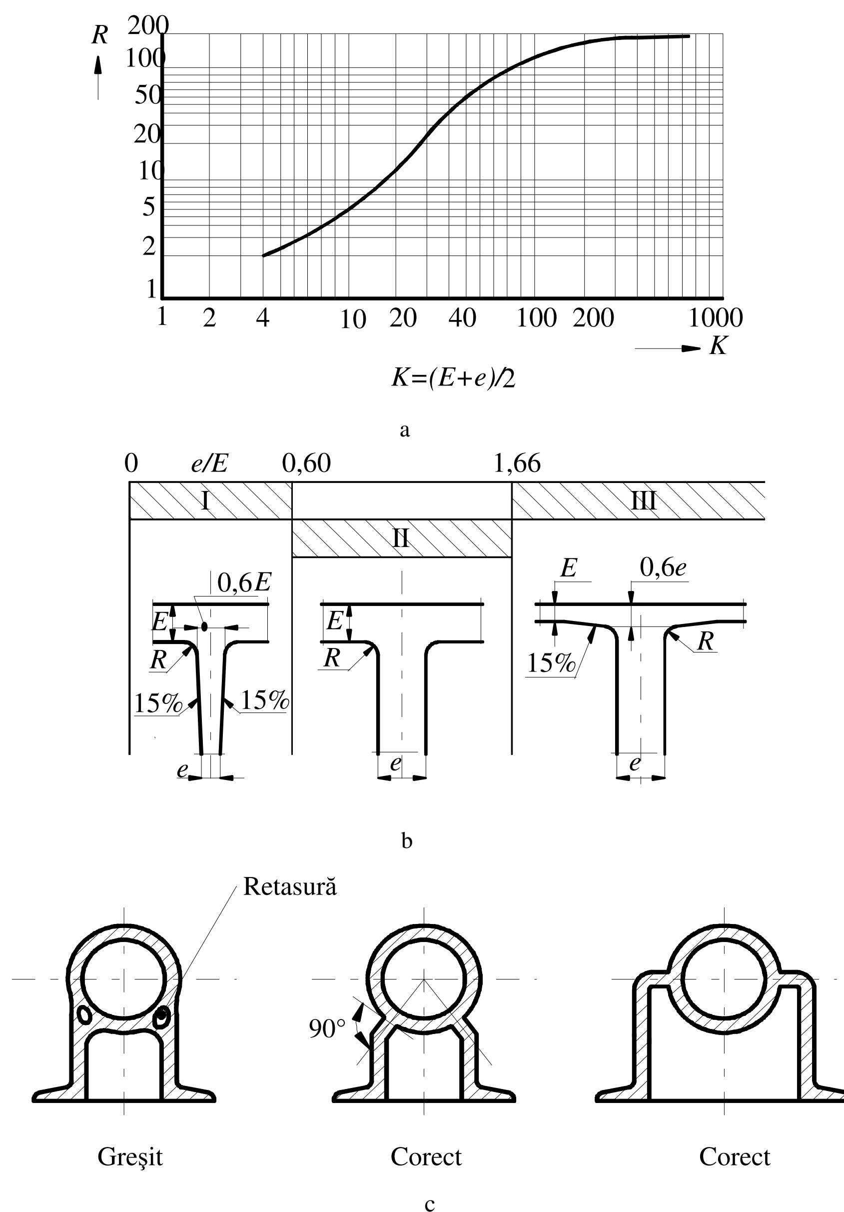


Fig. 3.50.Construcția intersecțiilor de pereți:
a - curba valorilor razelor de racordare;
b - racordări progresive în formă de „T”: I - corect; II - de evitat; III - corect;
c - intersecții sub unghiuri drepte.

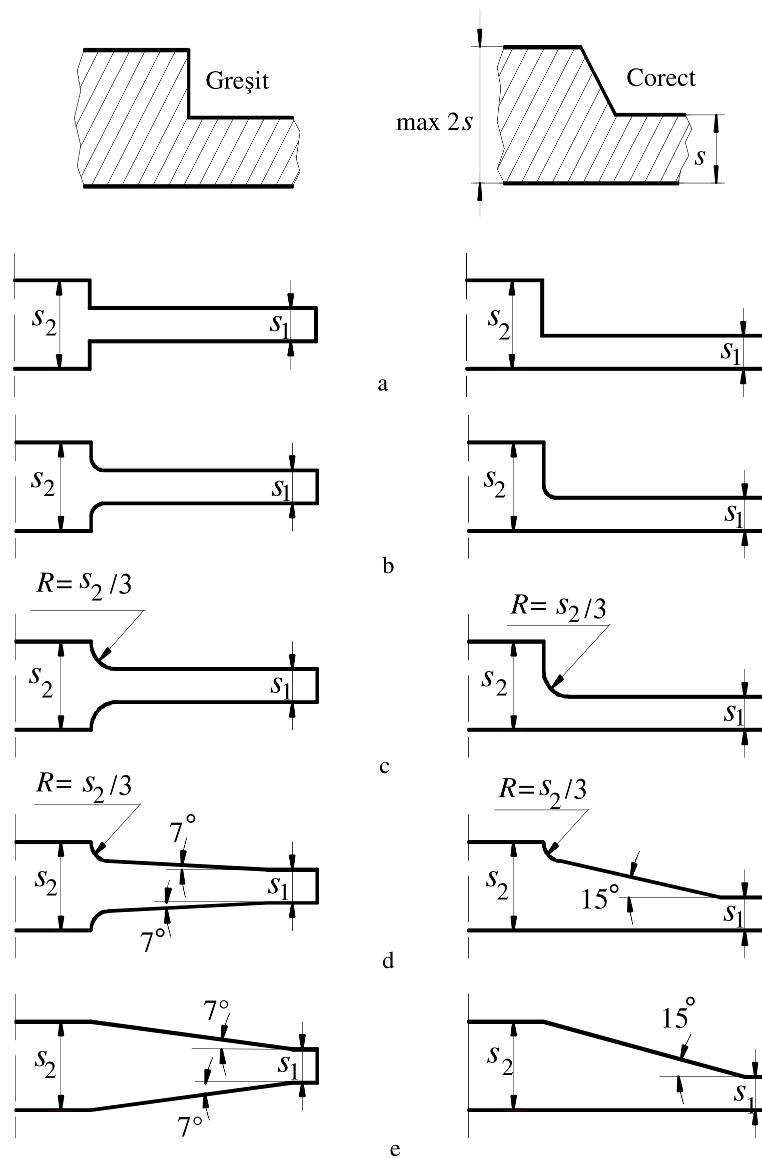


Fig. 3.51. Trecerea între pereţi de grosimi diferite:
a - greşit; b - mediocru; c - acceptabil; d - bine; e - foarte bine.

- proiectarea proporţiilor pieselor turnate în forme temporare: trebuie să se ţină seama în primul rând de configuraţia geometrică. Astfel, piesele cu configuraţie simplă, precum roţile dinţate, de curea, scripeţii, roţile de mână, de

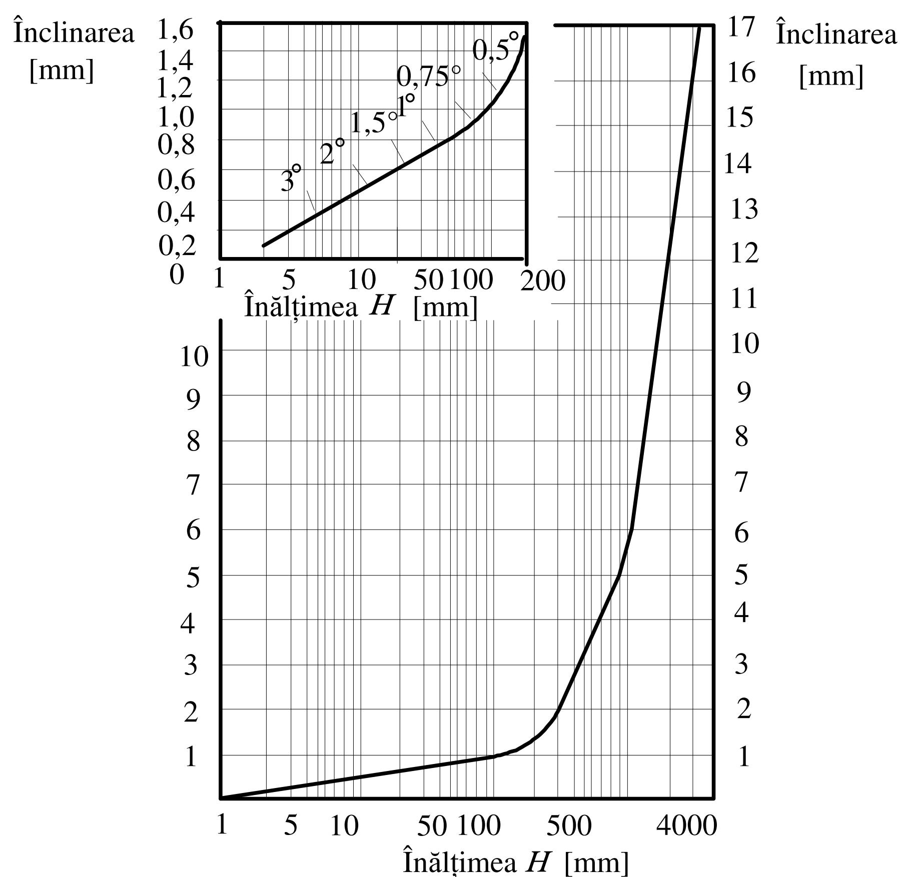


Fig. 3.52. Înclinarea pereților în funcție de înălțimea H a acestora.

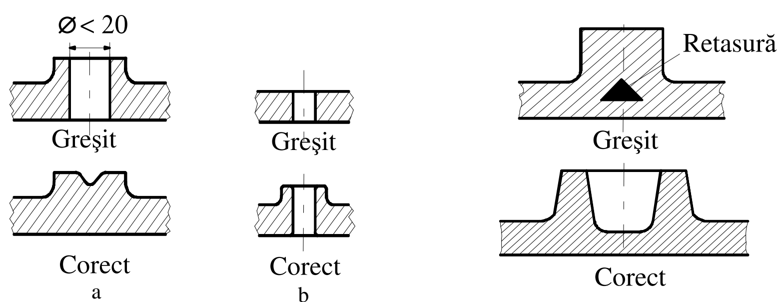


Fig. 3.53. Construcția găurilor:
a - cu diametrul ∅ < 20 mm; b - găuri străpunse, cu apariția bosajului.

Fig. 3.54. Construcția bosajelor.

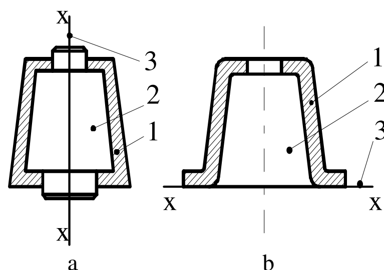


Fig. 3.55. Eliminarea miezurilor:
a - defavorabil, forma necesită utilizarea miezului;
b - favorabil, alegerea convenabilă a formei constructive a piesei şi a poziţiei planului de separaţie conduce la eliminarea miezului; 1 - piesa; 2 - miez; 3 - plan de separaţie.

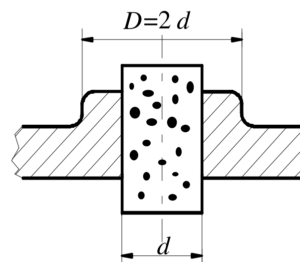


Fig. 3.56. Utilizarea miezurilor pentru obţinerea găurilor străpunse.

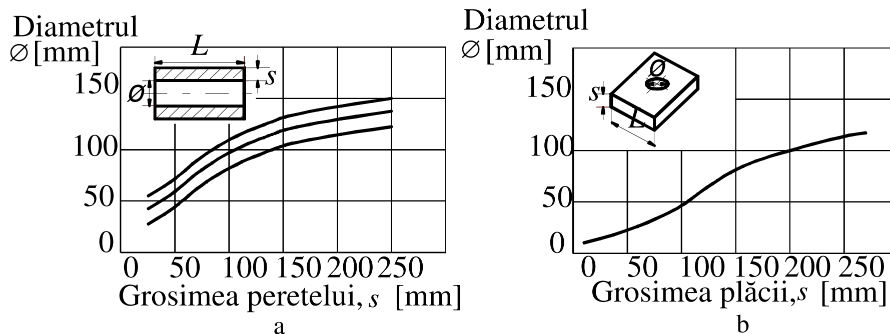


Fig. 3.57. Diametrele minime ale miezurilor:
a - miezuri cilindrice în piese lungi; b - miezuri cilindrice în plăci.

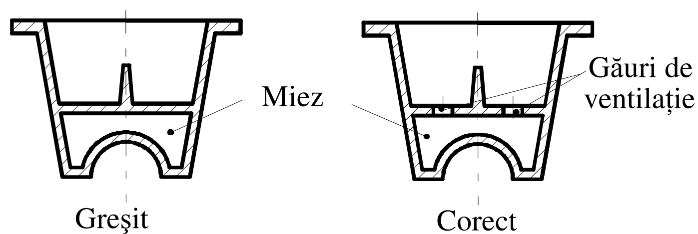


Fig. 3.58. Modul de amplasare a găurilor de ventilaţie speciale pentru miezuri.

cărucioare, volanţii etc. sunt adeseori greşit proiectate, ducând la acumularea de tensiuni interne şi la creşteri nejustificate de costuri în exploatare prin ieşirea lor prematură din funcţiune (fig.3.59).

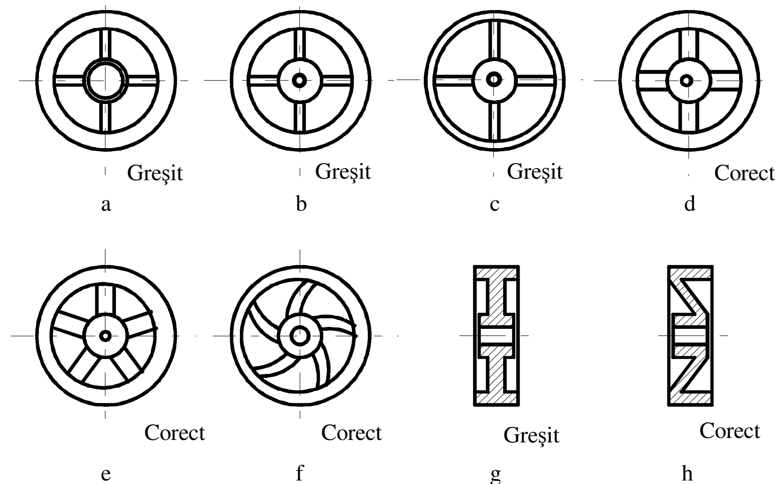


Fig. 3.59. Proporțiile piesei turnate:
a, b, c - proporții greşite între diversele elemente ale roții: obada, butucul, spițele; d - proporții corecte, dar prezența unui număr par de spițe este defavorabil echilibrării tensiunilor interne; e - soluție aproximativ corectă; f - soluție mai bună, prin curbarea spițelor se echilibrează mai bine tensiunile la solidificare; g, h - o altă soluție de preluare convenabilă a tensiunilor remanente de turnare este folosirea spițelor înclinate (h), în locul celor drepte (g).

Optimizarea formei piesei turnate se poate face pe baza următoarelor criterii:

- uşurarea modului de formare şi dezbatere (fig.3.60);
- dirijarea solidificării piesei în forma de turnare (fig.3.61);
- reducerea efectului contracției de solidificare (fig.3.62);
- uşurarea prelucrărilor ulterioare ale piesei brut turnate (fig.3.63).

Turnarea în forme coji cu modele uşor fuzibile conferă cea mai mare libertate proiectantului în ceea ce priveşte forma pieselor, procedeul fiind adesea utilizat pentru că se pot astfel elimina prelucrările mecanice. Câteva reguli minimale trebuie totuşi avute în vedere, astfel:

- înclinările pentru demulare sunt mult mai reduse, ele se referă în acest caz la extragerea modelului de ceară din matriță (se recomandă 0,25…0,5°);

- grosimea pereților piesei turnate - datorită dimensiunilor mici ale pieselor retasura apare sub forma unor concavități pe suprafața piesei, situate în zonele cu grosimi mari ale pereților. Pentru a preîntâmpina acest fenomen trebuie reduse nodurile termice. Grosimea minimă recomandată pentru peretele piesei depinde de fluiditatea aliajului topit, variind de la 0,75 mm (la aliajele de Co şi bronzurile cu Be) la 1,8 mm (la oțeluri cu conținut scăzut de C). Retasura poate fi redusă prin asigurarea unei grosimi uniforme a pereților (fig.3.64).

Desenul modelului asamblat se întocmeşte plecând de la desenul piesei brut turnate, la care se adaugă rețeaua de turnare şi maselotele.

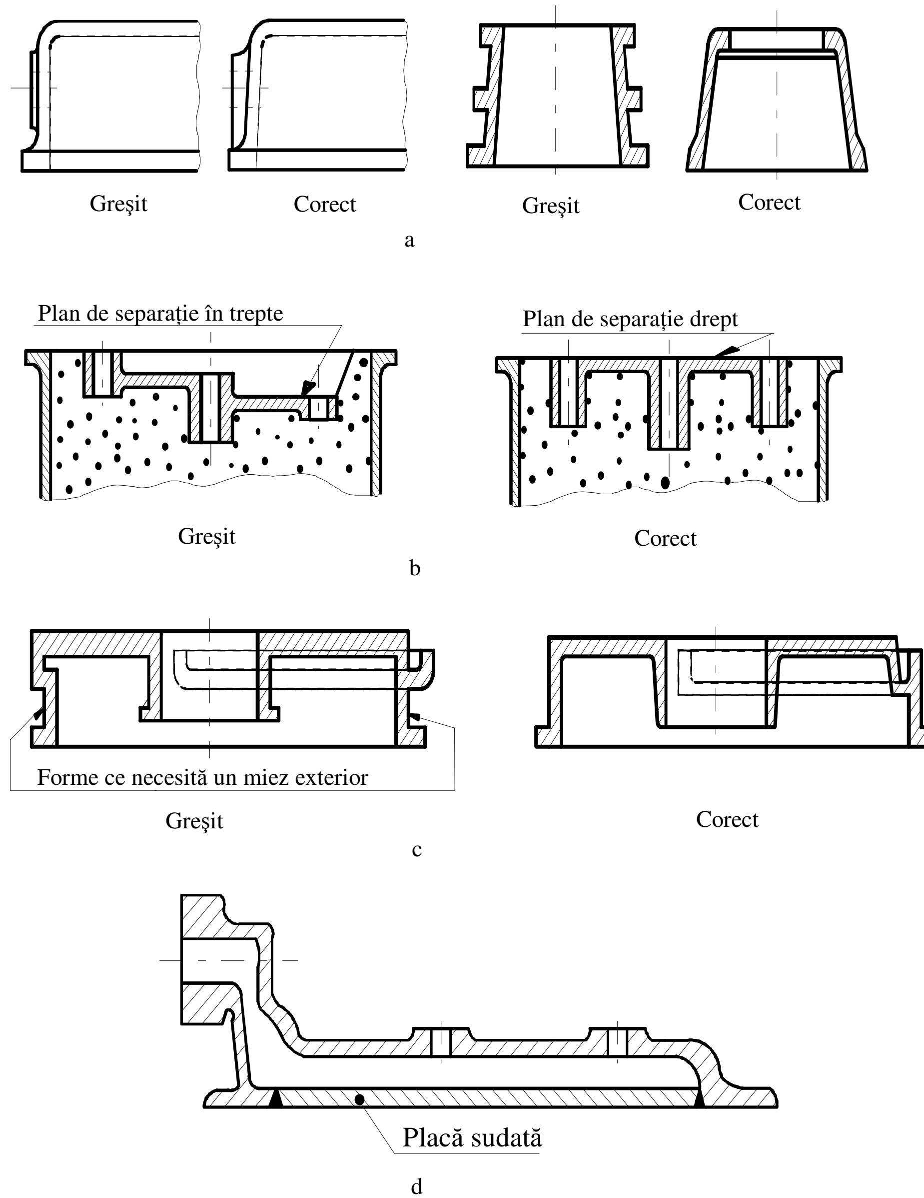


Fig. 3.60. Modificarea formei piesei în vederea uşurării tehnologiei de formare-turnare:
a - eliminarea miezurilor exterioare şi înclinarea pereţilor; b - simplificarea suprafeţei de separaţie;
c - eliminarea miezurilor exterioare, înclinarea pereţilor şi uşurarea curăţirii;
d - piesă turnată, cu placă de bază sudată după curăţirea interiorului piesei (se evită folosirea unui miez foarte complicat, greu de fixat şi de dezbătut).

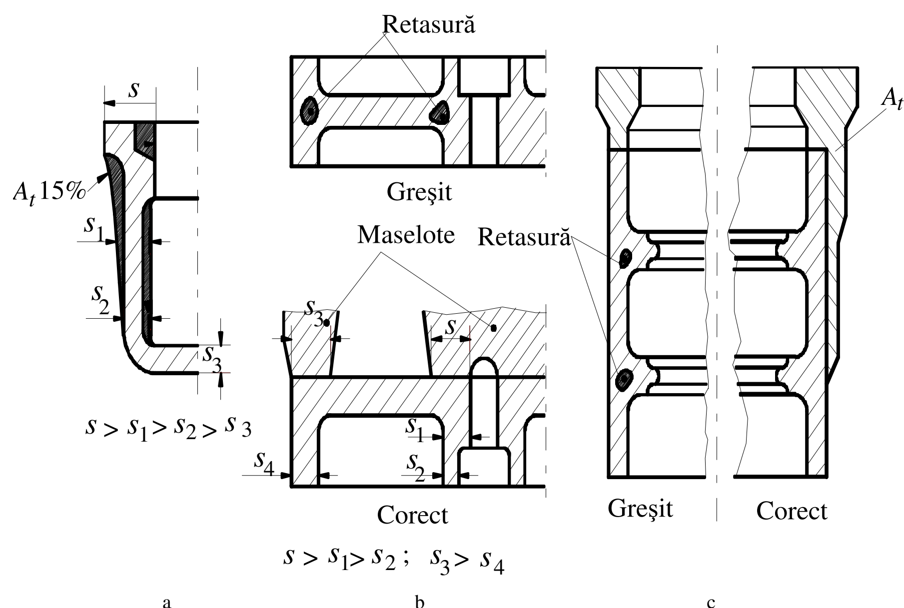


Fig. 3.61. Modificarea formei piesei turnate în vederea dirijării solidificării:
a - adaosuri tehnologice care realizează o creştere progresivă a grosimii peretelui;
b - amplasarea judicioasă a maselotelor; c - combinarea primelor două variante.

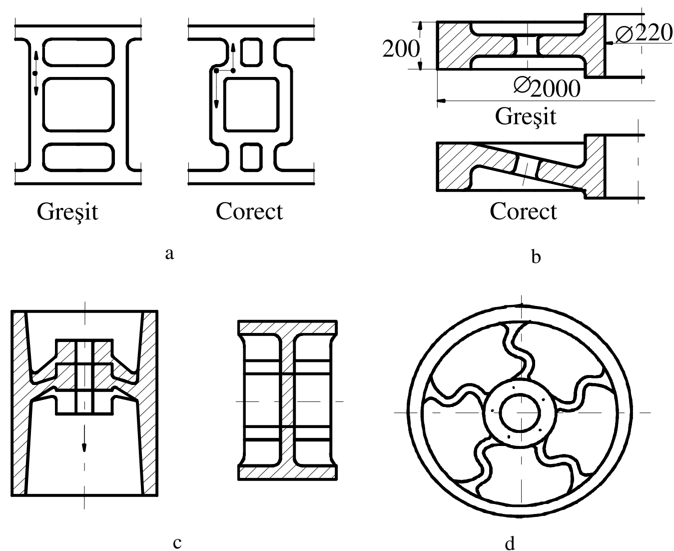


Fig. 3.62. Modificarea formei pieselor turnate în vederea reducerii tensiunilor de contracție:
a - grindă cu zăbrele; b, c - roți cu spiță de tip pânză; d - roată cu spițe curbate.

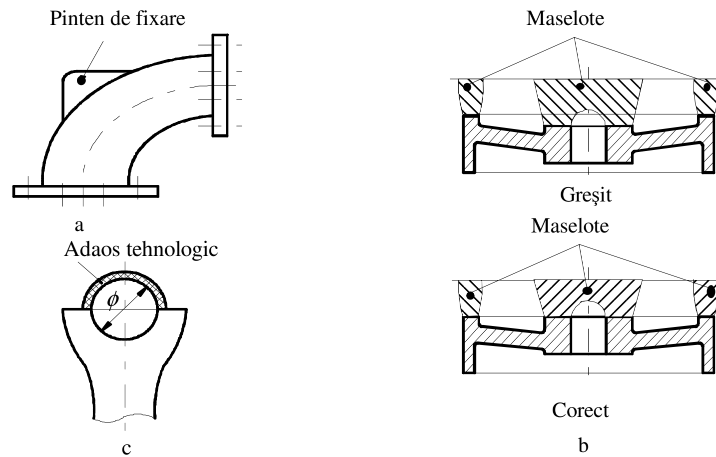


Fig. 3.63. Modificarea formei pieselor turnate în vederea uşurării prelucrărilor ulterioare: a - pinten care permite o fixare rigidă pe maşina-unealtă; b - aducerea maselotelor în acelaşi plan pentru uşurarea îndepărtării acestora; c - adaos tehnologic care uşurează prelucrarea alezajului.

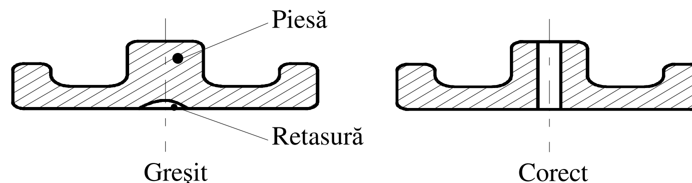


Fig. 3.64. Reducerea retasurii prin uniformizarea grosimii pereților.

La proiectarea modelului trebuie să se aibă în vedere de asemenea:

- poziția piesei în forma de turnare (a se vedea şi subcapitolul 3.7.2);
- simplificarea la maximum a modelului şi reducerea la minimum a numărului de repere componente (îndeosebi la producerea în regim de unicate şi serie mică).

Pentru scurtarea duratelor de proiectare tehnologică şi de execuție, elementele principale ale rețelelor de turnare (pâlnii, cupe, picioare, canale colectoare de zgură, alimentatoare) au fost normalizate, existând în seturi tipizate, ele putând fi asamblate asemenea fitingurilor (din instalațiile de apă şi de gaze). Ele pot fi alese pe baza unor nomograme, în funcție de debitul de aliaj topit necesar umplerii cavității formei şi de valoarea minimă a secțiunii canalelor de alimentare (a se vedea subcapitolul 3.7.6, fig.3.65 şi tabelul 3.14).

Maselotele sunt rezervoare de aliaj lichid, care au rolul de a alimenta golul de contracție care se formează în piesa aflată în curs de solidificare, în scopul transferării retasurii din piesă în afara ei.

Maselotele pot fi:

- directe, când sunt amplasate în zonele unde se formează retasurile principale;

- laterale, când sunt dispuse în zonele unde se formează retasurile secundare;

- deschise, când comunică cu atmosfera;

- închise, când se află în interiorul formei de turnare.

Maselotele pot lucra la presiune atmosferică (construcție mai simplă, dar acționează mai lent şi necesită un volum mai mare) sau la suprapresiune, generată cu cartuşe speciale de gaze, amplasate în interiorul maselotei (calcul mai laborios, acțiune mai rapidă, volum redus).

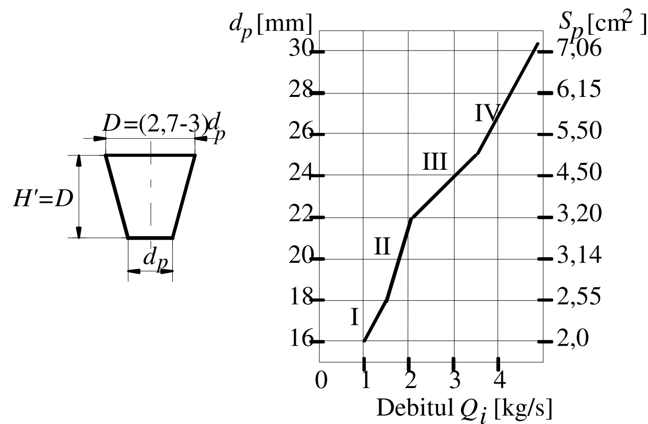


Fig. 3.65. Alegerea mărimii pâlniei de turnare:
D - diametrul pâlniei de turnare; d_p - diametrul piciorului pâlniei de turnare; *H´*- înălțimea pâlniei de turnare; Q_i - debitul de aliaj topit; S_p - secțiunea piciorului pâlniei.

Tabelul 3.14. *Tipodimensiunile pâlniilor de turnare*

Tipodimensiunea	d_p [mm]	*D, H´* [mm]	Masa aliajului în pâlnie [kg]
I	18	50	0,3
II	23	60	0,6
III	27	75	1,1
IV	30	90	1,9

Maselotele trebuie amplasate în toate zonele piesei unde se formează retasuri. La amplasare trebuie să se țină cont de zona de influență în care se exercită efectul maselotelor (fig.3.66).

Eficiența maselotelor scade odată cu creşterea suprafeței de schimb de căldură cu exteriorul. Cele mai eficiente forme de maselote sunt cele sferice şi cilindrice.

Înainte de a se dimensiona şi amplasa maselotele pe desenul piesei brut turnate, se vor satisface următoarele condiţii prealabile:

- se va asigura o solidificare dirijată a piesei, astfel încât, la partea superioară să se formeze o retasură concentrată. Acest lucru se obţine practic prin amplasarea piesei în forma de turnare cu secţiunea mare în partea superioară, astfel ca secţiunile mari să joace rolul de maselote pentru secţiunile mici de la partea inferioară a formei, partea superioară a piesei va fi alimentată direct din maselota propriu-zisă;

- în cazul pieselor cu aceeaşi grosime a secţiunii se prevăd adaosuri tehnologice cu secţiuni descrescătoare de sus în jos (fig.3.67).

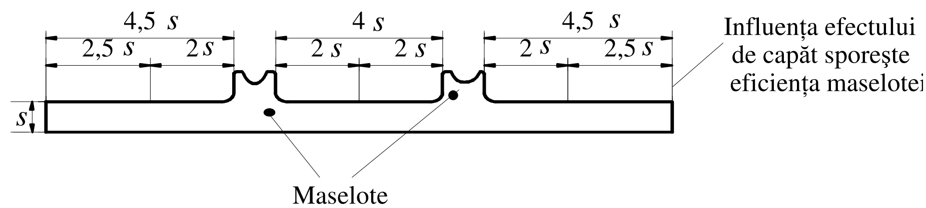


Fig. 3.66. Efectul maselotelor asupra piesei turnate.

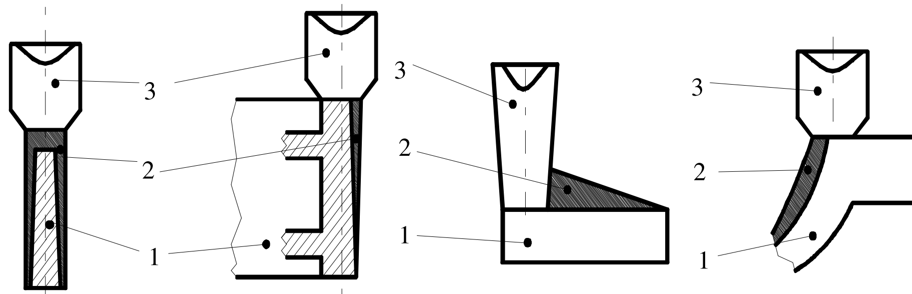


Fig. 3.67. Adaosuri tehnologice la amplasarea maselotelor:
1 - piesa turnată; 2 - adaos tehnologic; 3 - maselotă.

- se identifică nodurile termice cu ajutorul izotermelor de solidificare şi se amplasează pe aceste zone răcitori exteriori, astfel încât, solidificarea nodurilor termice să se producă înaintea pereţilor superiori ai piesei (fig.3.68);

- pentru nodurile termice aflate în apropierea maselotei se poate face alimentarea din maselotă, prin mărirea secţiunii peretelui care vine în contact cu maselota, utilizându-se metoda sferelor înscrise: sfera înscrisă în nodul termic să poată fi rostogolită liber prin pereţii piesei spre maselotă (fig.3.69).

Metoda sferei înscrise poate fi aplicată şi pentru reducerea nodurilor termice, prin aprecierea volumului de material acumulat în zonele cu grosimi neuniforme de pereţi (fig.3.70);

- se stabilesc zonele de amplasare a maselotelor pe nodurile termice, precum şi forma geometrică a acestora (cilindrică, sferică, prismatică, tronconică etc.).

Calculul de dimensionare a maselotelor **-** la dimensionarea maselotelor trebuie avut în vedere asigurarea:

- unui volum suficient de aliaj lichid în maselotă, atât pentru alimentarea retasurii din piesă, cât şi pentru formarea unei cruste de solidificare în maselotă pe durata solidificării piesei;
- o secțiune suficient de mare a maselotei, în acord cu zona din piesă alimentată de maselotă;
- o înălțime suficientă a maselotei, care să permită localizarea retasurii numai în interiorul maselotei.

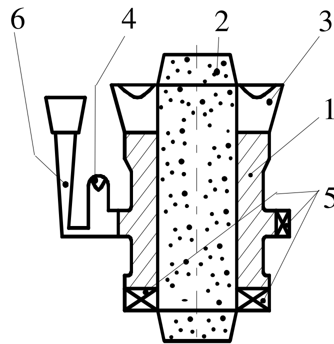


Fig. 3.68. Amplasarea răcitoarelor: 1 - piesa; 2 - miez; 3 - maselotă laterală deschisă; 4 - maselotă deschisă; 5 - răcitori exteriori; 6 - rețeaua de turnare.

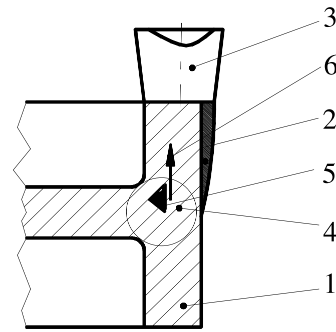


Fig. 3.69. Aplicarea metodei sferei înscrise: 1 - piesa; 2 - adaosul tehnologic; 3 - maselota; 4 - nodul termic situat la intersecția a doi pereți; 5 - sfera înscrisă nodului termic; 6 - sensul de rostogolire a sferei înscrise.

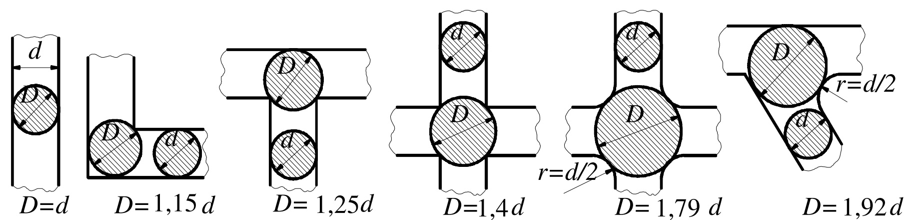


Fig. 3.70. Aprecierea acumulărilor de metal prin metoda sferei înscrise.

Diametrul maselotei D_m, se calculează cu relația

$$D_{\mathrm{m}} = 2{,}98 \cdot \sqrt[3]{F \cdot m} \quad [\mathrm{mm}], \qquad (3.15)$$

unde F este raportul dintre volumul alimentatorului V_a şi volumul piesei V_p şi se calculează cu relaţia

$$F = \frac{V_a}{V_p}, \quad (3.16)$$

în care m este modulul de solidificare al piesei turnate, dat de relaţia

$$m = \frac{V_p}{S_p}, \quad (3.17)$$

iar S_p este mărimea suprafeţei piesei turnate.

Reducerea volumului de material necesar pentru maselote (de regulă 5% din greutatea piesei turnate) se poate face prin creşterea eficienţei de utilizare a materialului din maselotă, prin mărirea fluidităţii acestuia (întârzierea solidificării). Acest lucru se poate realiza prin:

- utilizarea suprapresiunii în maselote (generate cu cartuşe de gaze);
- întârzierea solidificării prin izolarea termică a maselotei (cu bucşe izolante);
- întârzierea solidificării prin creşterea temperaturii în maselotă (cu bucşe sau pulberi exoterme).

Răcitorii au rolul de a accelera solidificarea materialului din nodul termic prin mărirea schimbului de căldură dintre aliajul topit aflat în cavitatea formei şi pereţii acesteia. Astfel se asigură solidificarea prioritară a zonei cu pereţii cei mai groşi, iar pereţii învecinaţi joacă rolul maselotei (fig.3.71).

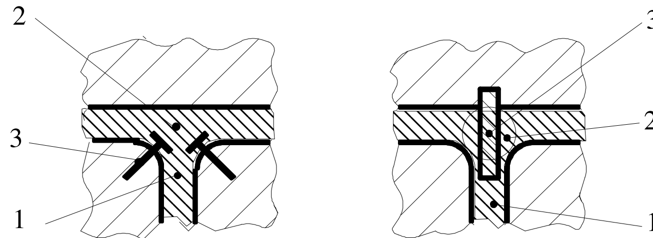


Fig. 3.71. Construcţia răcitoarelor interioare:
1 - peretele piesei; 2 - nodul termic; 3 - răcitor.

După amplasament răcitorii pot fi:

- exteriori piesei (amplasaţi în pereţii formei de turnare);
- interiori (amplasaţi în interiorul cavităţii formei de turnare, rămânând după solidificare înglobaţi în masa piesei).

Dimensionarea răcitorilor interiori se face luând în considerare căldura aliajului topit preluată de către răcitor pentru topirea acestuia din urmă:

$$m_r = \Delta m \cdot \frac{c + C_{p1}(\theta_t - \theta_s)}{C_r \cdot \theta_r} \quad [\text{kg}] \tag{3.18}$$

unde: m_r este masa răcitorului interior; Δm - masa suplimentară a materialului topit în nodul termic; c - căldura de solidificare a aliajului topit [J/kg]; C_{p1} - căldura masică a aliajului topit [J/kg·K]; θ_t - temperatura de turnare; θ_s - temperatura de solidificare; C_r - căldura masică a materialului răcitorului [J/kg·K]; θ_r - temperatura la care se încălzeşte răcitorul.

Dimensionarea răcitorilor exteriori se face luând în considerare căldura aliajului topit preluată de către răcitor prin conducție, până la înmuierea materialului acestuia

$$s_r = \Delta s \cdot \frac{q_l \left[q + C_{p1}(\theta_t - \theta_s)\right]}{q_r \cdot C_r \cdot \theta_r} \quad [\text{mm}] \ , \tag{3.19}$$

unde: s_r este grosimea răcitorului exterior; Δs - grosimea suplimentară a peretelui piesei; q_l - densitatea aliajului topit; q_r - densitatea materialului răcitorului.

3.7.11. Tehnologii tip pentru piese turnate în forme temporare

La turnarea pieselor în forme temporare, tehnologul are posibilitatea de a optimiza forma de turnare prin modificări relativ ieftine şi rapide. O serie de modificări pot fi aduse formei de turnare şi printr-o execuție greşită. Din această cauză şi pentru a preveni rebutarea piesei, tehnologia de execuție trebuie să conțină în mod obligatoriu desenul modelului asamblat.

Piese din fontă

În cele ce urmează sunt prezentate modelele asamblate pentru turnarea unor piese din fontă. În tabelele corespunzătoare sunt prezentate succint: caracteristicile piesei, datele geometrice ale modelului asamblat, precum şi parametrii tehnologiei de turnare.

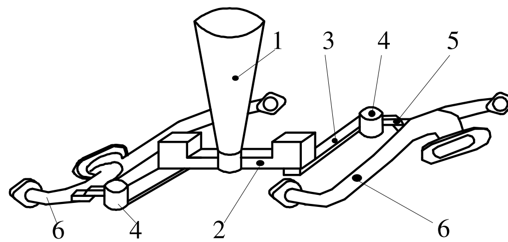


Fig. 3.72. Construcția modelului asamblat:
1 - piciorul pâlniei de turnare; 2,3 - colectori de zgură; 4 - separator de zgură; 5 - alimentator; 6 - piesă.

În figura 3.72 se prezintă modelul asamblat pentru obținerea dintr-o singură turnare turnare a două galerii de eşapament pentru motor, iar în tabelul 3.15 caracteristicile corespunzătoare.

Tabelul 3.15. *Caracteristicile modelului pentru turnarea a două galerii*

Construcția piesei		Construcția modelului asamblat (Fig.3.72)		Tehnologia de turnare	
Denumirea piesei	Galerie motor	Diametrul piciorului pâlniei	∅25 mm	Temperatura de turnare	1350°C
Materialul	Fc 200	Secțiunea colectorului de zgură	5 cm^2	Înălțimea de turnare	160 mm
Masa piesei	3,8 kg	Secțiunea separatorului de zgură	50×30 mm^2	Durata turnării	4 min
Masa totală	13,4 kg	Secțiunea alimentatorului	4 cm^2	Amestecul de formare	Liant sintetic
Grosimea minimă	4 mm	Două piese turnate simultan		Amestecul de miez	Cu ulei

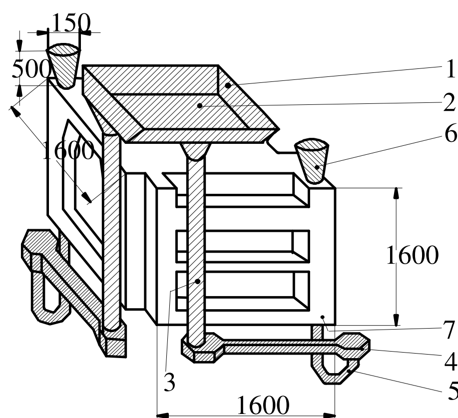


Fig. 3.73. Construcția modelului asamblat: 1 - bazinul pâlniei de turnare; 2 - pâlnia de turnare; 3 - piciorul pâlniei de turnare; 4 - colector de zgură; 5 - alimentator; 6 - maselote; 7 - piesa.

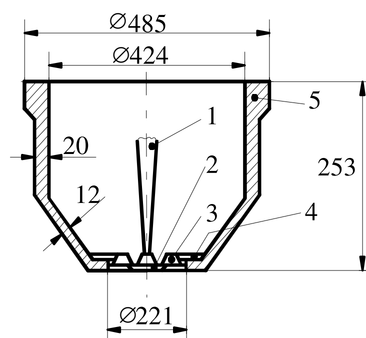


Fig. 3.74. Construcția modelului asamblat: 1 - piciorul pâlniei de turnare; 2 - colector de zgură; 3 - separator de zgură; 4 - alimentator; 5 - piesa.

Tabelul 3.16. *Caracteristicile modelului pentru turnarea unui capac de rezervor*

Construcția piesei		Construcția modelului asamblat (Fig.3.73)		Tehnologia de turnare	
Denumirea piesei	Capac	Diametrul piciorului pâlniei	∅ 30 mm	Temperatura de turnare	1350 °C
Materialul	Fc 250	Secțiunea colectorului de zgură	13 cm^2	Înălțimea de turnare	360 mm
Masa piesei	42,5 kg	Secțiunea separatorului de zgură	12 cm^2	Durata turnării	15 min
Masa totală	52,5 kg	Secțiunea alimentatorului	11 cm^2	Amestecul de formare	Liant sintetic
Grosimea minimă	12 mm	–	–	Amestecul de miez	–

În figura 3.73 se prezintă modelul asamblat pentru obținerea unui capac de rezervor, iar în tabelul 3.16 sunt date caracteristicile necesare.

În figura 3.74 se prezintă modelul asamblat pentru obținerea unei manta de cilindru de motor, iar în tabelul 3.17 parametrii tehnologici corespunzători.

În figura 3.75 se prezintă modelul asamblat pentru obținerea unei carcase de turbină, iar în tabelul 3.18 parametrii tehnologici şi constructivi ce trebuie respectați.

Tabelul 3.17. *Parametrii tehnologici pentru turnarea unei manta de cilindru*

Construcția piesei		Construcția modelului asamblat (Fig.3.74)		Tehnologia de turnare	
Denumirea piesei	Manta de cilindru	Diametrul piciorului pâlniei	∅ 70 mm	Temperatura de turnare	1 320°C
Materialul	Fc 250	Diametrul pâlniei de turnare	∅ 100 mm	Înălțimea de turnare	160 mm
Masa piesei	14 500 kg	Secțiunea separatorului de zgură	9 cm^2	Durata turnării	80 min
Masa totală	17 500 kg	Diametrul alimentatorului	∅ 40 cm	Amestecul de formare	Întărire cu CO_2
Grosimea minimă	8 mm	Maselote exoterme	9 buc ∅ 150×150	Amestecul de miez	Idem

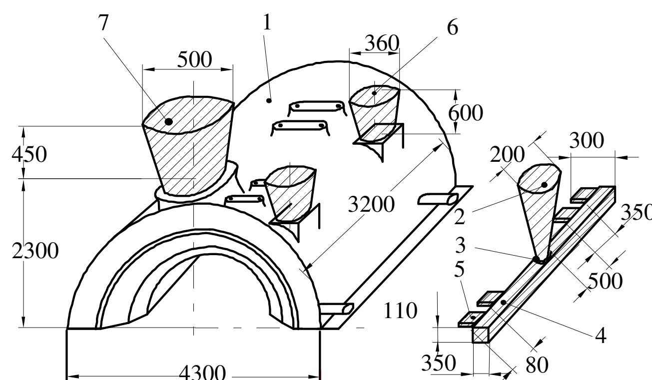


Fig. 3.75. Construcția modelului asamblat:
1 - piesa; 2 - piciorul pâlniei de turnare; 3 - colector de zgură; 4 - separator de zgură; 5 -alimentator; 6 - maselota I; 7 - maselota II.

Piese din oțel

În cele ce urmează sunt prezentate modelele asamblate pentru turnarea în forme temporare a unor piese din oțel. În tabelele corespunzătoare sunt prezentate succint caracteristicile piesei, datele geometrice ale modelului asamblat, parametrii

tehnologiei de turnare.

În figura 3.76 se prezintă construcția modelului asamblat pentru obținerea unei bucşe cu guler confecționată din oțel de turnare (OT 55), iar în tabelul 3.19 sunt date caracteristicile constructive şi parametrii tehnologici ce trebuie respectați.

Tabelul 3.18. *Parametrii pentru turnarea unei carcase de turbină*

Construcția piesei		Construcția modelului asamblat (Fig.3.75)		Tehnologia de turnare	
Denumirea piesei	Carcasă de turbină	Diametrul piciorului pâlniei	∅ 200 mm	Temperatura de turnare	1 350°C
Materialul	Fgn 420-12	Secțiunea colectorului de	10 cm^2	Înălțimea de turnare	3 000 mm
Masa piesei	25 800 kg	Secțiunea separatorului de zgură	8,8 cm^2	Durata turnării	50 min
Masa totală	30 000 kg	Secțiunea alimentatorului	8,6 cm^2	Amestecul de formare	Liant de ciment
Grosimea minimă	80 mm	Maselota I Maselota II	∅ 360×60 ∅ 500×450	Amestecul de miez	Cu ulei

Tabelul 3.19. *Caracteristicile modelului pentru turnarea unei bucşe cu guler*

Construcția piesei		Construcția modelului asamblat (Fig.3.76)		Tehnologia de turnare	
Denumirea piesei	Bucşă cu guler	Diametrul piciorului pâlniei	∅ 45 mm	Temperatura de turnare	1 500°C
Materialul	OT 55	Secțiunea colectorului de zgură	3,5 cm^2	Înălțimea de turnare	150 mm
Masa piesei	125 kg	Secțiunea alimentatorului	2 cm^2	Durata turnării	15min
Masa totală	140 kg	Maselote	3 buc. ∅ 100×140	Amestecul de formare	Forma uscată
Grosimea minimă	24 mm	Răcitori	3 buc. ∅ 100×50	Amestecul de miez	Întărire cu CO_2

Tabelul 3.20. *Caracteristicile modelului pentru turnarea unei flanşe oarbe*

Construcția piesei		Construcția modelului asamblat (Fig.3.77)		Tehnologia de turnare	
Denumirea piesei	Flanşă oarbă	Diametrul piciorului pâlniei	∅ 20 mm	Temperatura de turnare	1 550 °C
Materialul	OT 45	Secțiunea colectorului de zgură	4,5 cm^2	Înălțimea de turnare	150 mm
Masa piesei	115 kg	Secțiunea alimentatorului	2,5 cm^2	Durata turnării	8 min
Masa totală	155 kg	Maselotă	∅ 200×200mm	Amestecul de formare	Întărire cu CO_2
Grosimea minimă	50 mm	Alimentator amplasat în planul de separație		Amestecul de miez	-

În figura 3.77 se prezintă construcția modelului asamblat pentru o flanşă oarbă confecționată din oțel de turnare (OT 45), iar în tabelul 3.20 sunt dați parametrii tehnologici şi constructivi ce trebuie respectați.

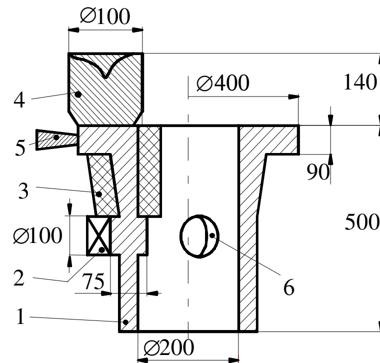


Fig. 3.76. Construcția modelului asamblat: 1 – piesă; 2 - răcitoare (3 bucăți); 3 – miezuri (corespunzătoare bosajelor); 4 - maselote (3 bucăți); 5 - alimentator; 6 - bosaje (3 bosaje echidistante).

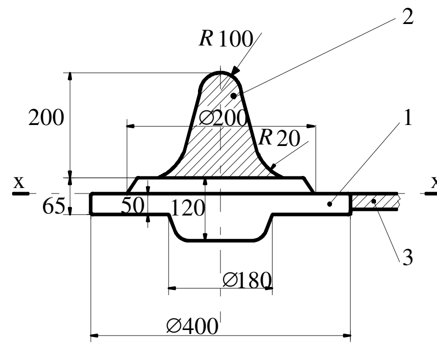


Fig. 3.77. Construcția modelului asamblat: 1 - piesă; 2 - maselotă; 3 - alimentator.

În figura 3.78 se prezintă construcția modelului asamblat pentru obținerea unei roți cu spițe confecționate din oțel de turnare (OT 55), iar în tabelul 3.21 sunt date caracteristicile constructive şi parametrii tehnologici ce trebuie respectați.

Tabelul 3.21. *Caracteristicile modelului pentru turnarea unei roți cu spițe*

Construcția piesei		Construcția modelului asamblat (Fig.3.78)		Tehnologia de turnare	
Denumirea piesei	Roată	Diametrul piciorului pâlniei	∅55 mm	Temperatura de turnare	1 550°C
Materialul	OT 55	Secțiunea colectorului de zgură	8,7 cm^2	Înălțimea de turnare	200 mm
Masa piesei	180 kg	Secțiunea alimentatorului	6 cm^2	Durata turnării	10 min
Masa totală	240 kg	Maselote	250×250 120×250	Amestecul de formare	Întărire cu CO_2
Grosimea minimă	30 mm	Alimentare bilaterală prin maselote		Amestecul de miez	-

Piese din aliaje neferoase

În cele ce urmează sunt prezentate modelele asamblate pentru turnarea unor piese din aliaje neferoase (bronz cu Al, bronz cu Sn). În tabelele corespunzătoare sunt prezentate succint: caracteristicile piesei, datele geometrice ale modelului asamblat, parametrii tehnologiei de turnare.

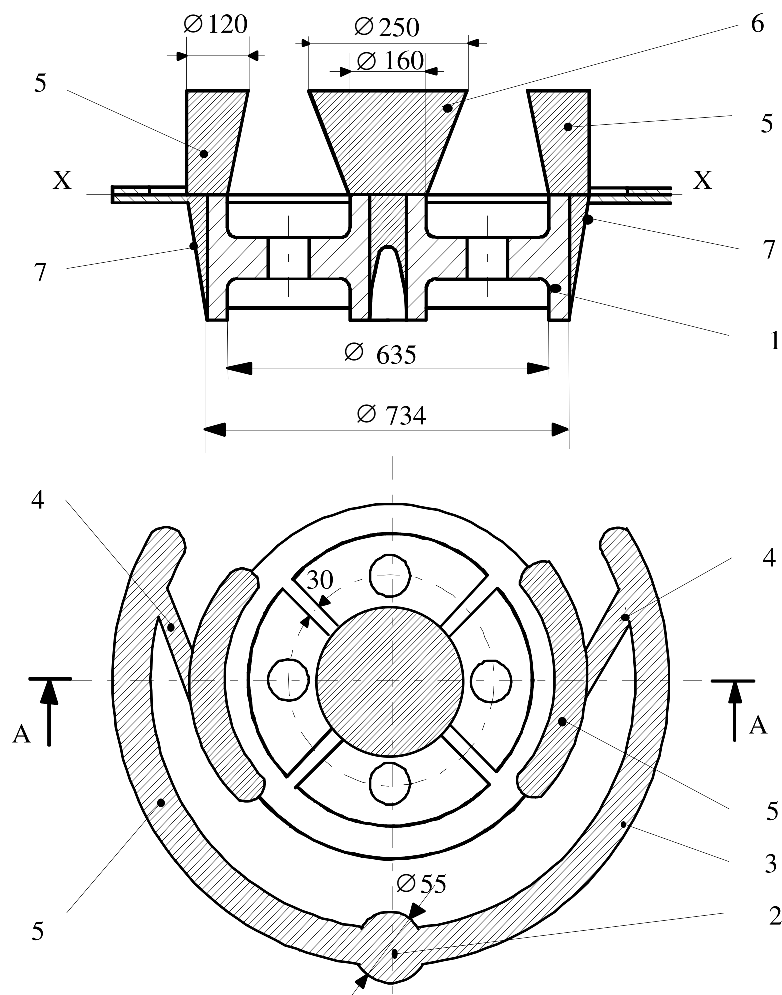


Fig. 3.78. Construcţia modelului asamblat:
1 - piesa; 2 - piciorul pâlniei de turnare; 3 - colector de zgură; 4 - alimentatoare;
5 - maselotele I; 6 - maselota II; 7 - adaos tehnologic.

În figura 3.79 se prezintă construcţia modelului asamblat pentru obţinerea unei coroane melcate confecţionată dintr-un aliaj de cupru (CuAl9Fe3), iar în tabelul 3.22 sunt daţi parametrii tehnologici şi constructivi ce trebuie respectaţi.

În figura 3.80 se prezintă construcţia modelului asamblat pentru obţinerea a două bucşe-cuzinet dintr-o singură turnare confecţionate dintr-un bronz (CuSn5Zn5PbT), iar în tabelul 3.23 sunt date date caracteristicile tehnologice şi constructive ce trebuie respectate.

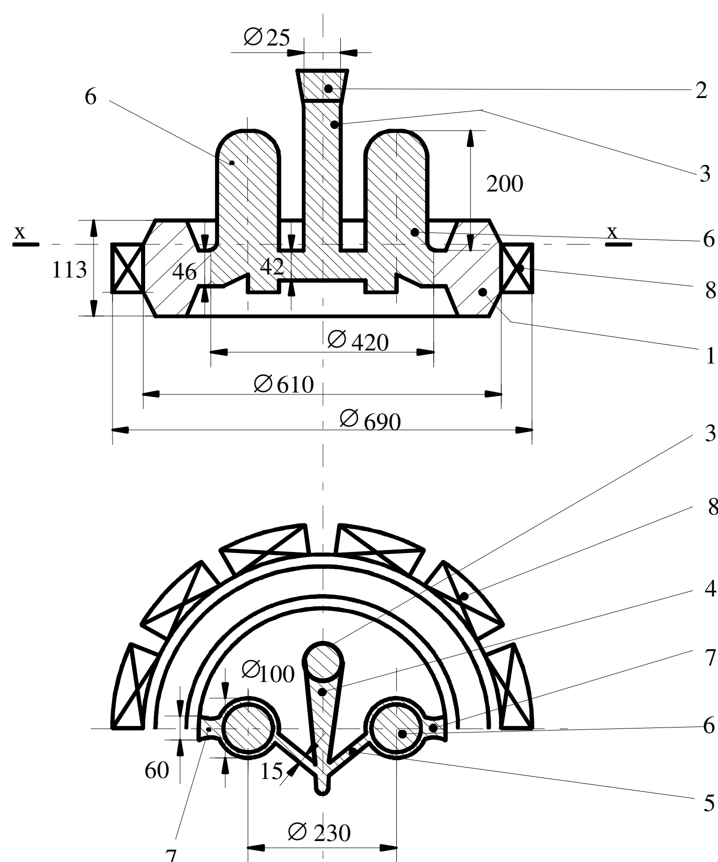


Fig. 3.79. Construcţia modelului asamblat:
1 - piesă; 2 - pâlnia de turnare; 3 - piciorul pâlniei de turnare; 4 - colector de zgură; 5 -alimentatorul maselotei; 6 – maselote (2 bucăţi); 7 - alimentatoarele piesei; 8 - răcitoare (12 bucăţi).

Tabelul 3.22. *Parametrii tehnologici şi constructivi la turnarea unei coroane melcate*

Construcţia piesei		Construcţia modelului asamblat (Fig.3.79)		Tehnologia de turnare	
Denumirea piesei	Coroană melcată	Diametrul piciorului pâlniei	∅ 25 mm	Temperatura de turnare	1 210°C
Materialul	CuAl9Fe3	Secţiunea colectorului de zgură	5 cm^2	Înălţimea de turnare	450 mm
Masa piesei	120 kg	Secţiunea alimentatorului	9,2 cm^2	Durata turnării	8 min
Masa totală	150 kg	Secţiunea de alimentare a maselotei	5,8 cm^2	Amestecul de formare	Obişnuit
Grosimea minimă	46 mm			Amestecul de miez	-

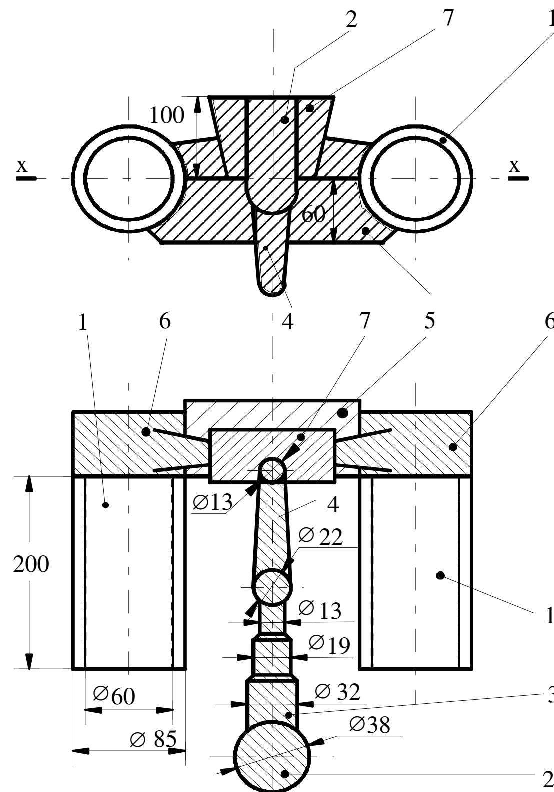


Fig. 3.80. Construcția modelului asamblat:
1 - piesele; 2 - pâlnia de turnare; 3 - piciorul pâlniei de turnare; 4 - colector de zgură;
5 - alimentator; 6 - maselotele; 7 - preaplin.

Tabelul 3.23. *Parametrii tehnologici şi constructivi la turnarea unei bucşe-cuzinet*

Construcția piesei		Construcția modelului asamblat (Fig.3.80)		Tehnologia de turnare	
Denumirea piesei	Bucşă cuzinet	Diametrul piciorului pâlniei	∅ 32 mm	Temperatura de turnare	1 150°C
Materialul	CuSn5Zn5PbT	Secțiunea colectorului de zgură	2,83 cm^2	Înălțimea de turnare	150 mm
Masa piesei	6 kg	Secțiunea separatorului de zgură	3,8 cm^2	Durata turnării	5 min
Masa totală	10 kg	Secțiunea alimentatorului	1,32 cm^2	Amestecul de formare	Obişnuit
Grosimea minimă	12,5 mm	Două piese turnate simultan		Amestecul de miez	-

3.8. TURNAREA ÎN FORME PERMANENTE

3.8.1. Generalități

Formele permanente sunt confecționate din *materiale durabile*, care permit utilizarea formei la mai multe turnări consecutive, fără recondiționarea ei după fiecare turnare. Ele pot fi confecționate din materiale refractare ceramice sau metalice. Cel mai des utilizate sunt materialele metalice: fonta cenuşie, oțelurile carbon şi cele aliate, aliajele de cupru şi de aluminiu.

Fonta cenuşie este materialul cel mai curent utilizat pentru confecționarea formelor permanente. În forme din fontă perlitică se toarnă piesele mici, iar cele mari, de până la o tonă, în forme din fontă feritică (tab.3.24). Formele din fontă cenuşie se realizează prin turnare în forme temporare, urmată de finisarea suprafețelor active.

Tabelul 3.24. *Durabilitatea formelor de turnare din fontă cenuşie*

Aliajul de turnat	Gabaritul piesei turnate	Numărul de utilizări
Aluminiu	Mici şi mijlocii	10 000-15 000
Cupru		5 000-10 000
Zinc		20 000-25 000
Fontă cenuşie	Mici	minimum 5 000
	Mijlocii	1 000-5 000
	Mari	100-500
Oțel carbon	Mici	400-600
	Mijlocii	100-300
	Mari	25-100

Formele confecționate din *oțel* se utilizează pentru turnarea pieselor mari, de peste o tonă. Se pot realiza atât forme compacte, masive, cât şi forme permeabile din sârmă sau din lamele (formele permeabile au o durabilitate mai redusă decât cele masive, dar sunt mai ieftine şi mai uşor de realizat).

Aliajele de aluminiu cu siliciu se folosesc la realizarea formelor pentru turnarea aliajelor uşor fuzibile şi a fontelor.

Molibdenul 98% se utilizează la realizarea miezurilor permanente, având o durabilitate de 10 ori mai mare ca a oțelurilor aliate.

Grafitul se utilizează la confecționarea formelor pentru turnarea centrifugală. Aceste forme sunt mai ieftine decât cele metalice, au o conductivitate termică apropiată de cea a fontei cenuşii şi rezistă la circa 5 000 de utilizări.

Posibilitatea reutilizării formei permanente reduce considerabil durata consumată cu pregătirea formei de turnare (până la 60% din timpul alocat realizării unei piese prin turnare în forme temporare îl poate constitui formarea manuală), de aceea creşte corespunzător productivitatea muncii.

Alte avantaje oferite de turnarea în forme permanente sunt:

- permit reducerea adaosurilor de prelucrare şi a greutăţii piesei turnate, prin obţinerea unor precizii dimensionale ridicate şi a unor suprafeţe de bună calitate;
- permit reducerea adaosurilor tehnologice, precum şi a maselotelor şi răcitorilor exteriori sau interiori, prin creşterea vitezei de răcire a piesei şi prin posibilitatea de a se reduce grosimea minimă a pereţilor piesei.

În scopul utilizării raţionale a procedeelor de turnare în forme metalice, trebuie avute în vedere următoarele:

- concepţia constructivă a formei să fie cât mai simplă şi robustă, astfel încât aceasta să aibă o fiabilitate ridicată la un preţ de execuţie redus;
- volumul pieselor prevăzute a se turna să fie suficient de mare pentru a se amortiza rapid costul formei;
- adaptarea justă a procesului tehnologic de turnare, ţinând cont de vitezele mari de răcire a pieselor;
- folosirea oportunităţilor de a se mecaniza şi automatiza complet procesul de fabricaţie a pieselor turnate, incluzând operaţiile de asamblare a formei, de transfer a formelor, de turnare, de extragere a piesei şi altele.

La turnarea în forme metalice trebuie rezolvate problemele legate de:

- lipsa de compresibilitate a formei de turnare şi a miezurilor;
- evacuarea uşoară a gazelor din cavitatea formei;
- menţinerea temperaturii la interfaţa topitură-peretele formei sub limita temperaturii de topire a materialului formei;
- evitarea reacţiilor chimice dintre topitură şi materialul formei;
- evitarea aderenţei topiturii pe pereţii formei;
- extragerea uşoară şi rapidă a piesei din formă şi a miezurilor din piesă.

După dinamica procesului de turnare şi de solidificare a pieselor turnate în forme permanente, se poate face următoarea clasificare a procedeelor de turnare în forme permanente:

- *turnarea liberă* (sub acţiunea forţei gravitaţionale, la presiune atmosferică):
    - turnarea în cochilă;
    - turnarea în cristalizor (semicontinuă sau continuă);
    - turnarea prin retopire sub strat de zgură;
- *turnarea sub acţiunea unor forţe suplimentare:*
    - cu suprapresiune:
        - la presiune joasă;
        - la presiune înaltă;
    - cu depresiune (prin aspiraţie);
    - cu o forţă mecanică
        - centrifugală;
        - prin expulzare progresivă;

- prin vibrare;
- prin matrițare în stare lichidă;
- în câmp ultrasonor;
- cu o forță electromagnetică (în câmp electromagnetic).

După modul de inițiere a solidificării, turnarea în forme permanente se poate structura în:

- solidificare nedirijată;
- solidificare dirijată:
  - unilaterală;
  - multilaterală;
- turnarea pieselor bimetalice;
- turnarea pieselor armate.

Datorită faptului că aceste procedee sunt mai puțin răspândite, ele sunt cunoscute şi sub denumirea de procedee „moderne”, „neconvenționale” sau „speciale”.

Pentru a putea fi utilizate eficient ele trebuie să fie la fel de familiare şi cunoscute tehnologului ca şi procedeele de turnare în forme temporare.

3.8.2. Turnarea în forme permanente fără suprapresiune

Formele permanente utilizate pentru turnarea aliajelor prin cădere liberă poartă uzual denumirea de *cochile.* Cochilele pot fi în construcție monobloc, când sunt destinate realizării de piese cu configurație simplă, care pot fi extrase din formă pe la unul din capete (lingouri mici, semifabricate) sau asamblate, după un plan de separație, cu miezuri demontabile.

O construcție complicată duce implicit la creşterea costului de realizare şi a cheltuielilor de exploatare şi de întreținere.

Cochilele pot avea miezuri permanente sau temporare.

Rețeaua de turnare poate fi conținută integral sau numai parțial în interiorul cochilei.

Pentru lingourile de mici dimensiuni se poate utiliza cochila monobloc din figura 3.81, fără rețea de turnare. Retasura se formează la partea superioară a piesei, iar lingoul se extrage prin răsturnarea cochilei.

Pentru lingouri de dimensiuni mari se utilizează cochila asamblată din figura 3.82, confecționată din fontă cenuşie prin turnare în forme temporare. Aceasta poate servi la turnarea simultană a 2-6 lingouri, putându-se monta mai multe forme în jurul unei aceleiaşi rețele de turnare (în cazul din figură, turnarea se face prin sifon). Lingotiera este prevăzută cu o cavitate aparte pentru maselotă, astfel că lingoul rezultă fără retasură. Cavitatea maselotei 2 este căptuşită cu material refractar 9, ca izolator termic, astfel încât răcirea maselotei să se facă lent în raport cu restul piesei. Extragerea piesei se face prin demontarea formelor 3 de

pe podul de turnare 4. Pentru a se extrage rețeaua de turnare trebuie demontate celelalte elemente ale cochilei.

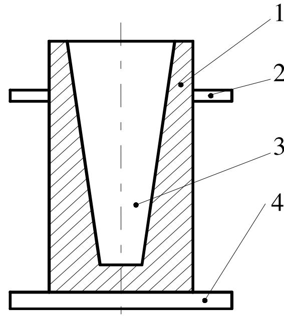


Fig. 3.81. Cochilă monobloc:
1 - corpul lingotierei; 2 - urechi de prindere; 3 - cavitatea formei; 4 - placă de bază.

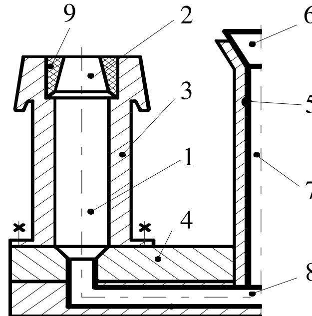


Fig. 3.82. Lingotieră asamblată:
1 - cavitatea care generează forma lingoului; 2 - cavitatea maselotei; 3 - corpul formei; 4 - podul de turnare; 5 - căptușeală refractară; 6 - pâlnia de turnare; 7 - piciorul pâlniei; 8 - canalul de distribuție; 9 - căptușeală refractară.

În figura 3.83 este prezentată o vedere laterală în planul de separație a unei cochile asamblate din două semiforme cu miezuri permanente, demontabile. Ea este utilizată pentru obținerea unui corp de robinet, turnat din aliaje neferoase ușoare. Înainte de fiecare nouă turnare cochilele se pregătesc prin:

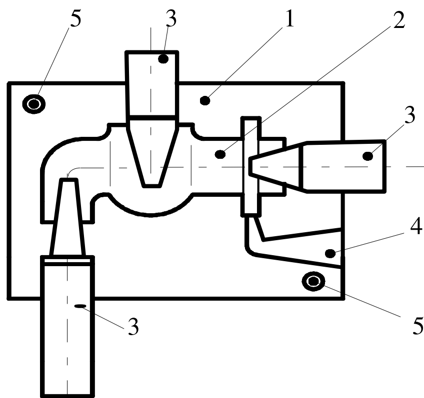


Fig. 3.83. Cochilă asamblată:
1 - semicochilă; 2 - cavitatea generatoare a piesei; 3 - miezuri; 4 - rețeaua de turnare; 5 - știfturi de centrare a semicochilelor.

- verificarea sumară a calității suprafețelor generatoare ale piesei (atât de pe semiforme, cât și de pe miezuri);
- verificarea centrării și închiderii cochilei;
- depunerea pe suprafețele active ale cochilei a unui strat refractar de protecție, alcătuit din pudră de cuarț și silicat de sodiu sau din argilă refractară, grafit și ulei mineral;
- acoperirea stratului protector depus anterior cu vopsea refractară, în funcție de tipul aliajului turnat. Cochilele se confecționează din materiale care pot prelua șocuri termice alternative și care au o stabilitate bună la coroziunea exercitată de topiturile metalice. Pe lângă materialele clasice (fonte perlitice, feritice, oțeluri

înalt aliate cu Cr, Ni, V), la confecționarea cochilelor se pot folosi şi materiale nemetalice, precum grafitul şi materialele metaloceramice. O soluție distinctă este utilizarea aliajelor pe bază de aluminiu, la care suprafețele active se pot acoperi cu straturi dure refractare metaloceramice de Al_2O_3 prin oxidare anodică.

Utilizarea materialelor cu conductibilitate termică ridicată (aliaje de Al şi Cu) la confecționarea cochilelor permite răcirea rapidă a formei, putându-se turna piese din materiale cu temperatura de topire superioară celei a materialului formei, în condițiile evacuării suficient de rapide a căldurii din interfața piesă-sculă.

Pentru creşterea fluidității topiturii în cavitatea formei, la realizarea pieselor cu pereți subțiri şi configurație complexă, se poate recurge la vibrarea formei în timpul turnării şi a solidificării.

3.8.3. Turnarea în forme permanente cu suprapresiune

La turnarea obişnuită (sub acțiunea forței gravitaționale) presiunea de umplere a cavității formei este variabilă. Această presiune este maximă în partea de jos a cavității (fig.3.84) şi minimă în partea de sus a cavității

$$p_{\max} = \gamma \cdot h_1 \;\; ; \quad p_{\min} = \gamma \cdot h_2 \qquad [\mathrm{N/m^2}] \qquad (3.20)$$

în care h_1 şi h_2 sunt înălțimile coloanelor de metal sau aliaj turnat, iar γ este greutatea specifică a materialului turnat.

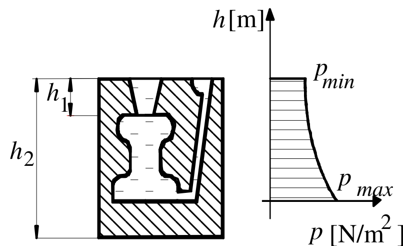


Fig.3.84. Variația presiunii de umplere a cavității de turnare pe înălțimea cavității la turnarea prin cădere liberă.

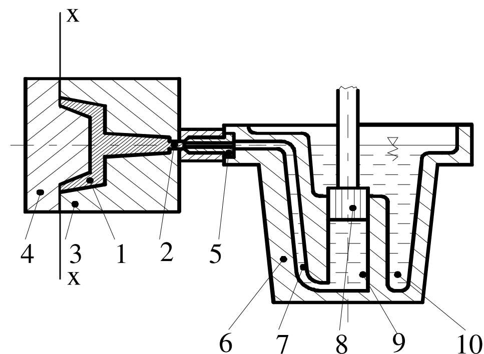


Fig.3.85. Maşina de turnat cu cameră caldă cu piston vertical:
1 - piesa; 2 - rețeaua de turnare; 3 - semimatrița fixă; 4 - semimatrița mobilă; 5 - duza de alimen-tare; 6 - cuptorul de menținere la temperatura de turnare; 7 - canal de alimentare; 8 - pistonul; 9 - camera de compresie; 10 - aliajul topit; x-x-plan de separație.

La turnarea în forme metalice viteza de răcire a aliajului turnat este foarte mare, de aceea apare pericolul umplerii incomplete a cavității formei și imposibilitatea obținerii de piese cu pereți subțiri și configurație complexă. Pentru eliminarea acestordezavantaje este necesară exercitarea unei presiuni asupra metalului sau aliajului care se toarnă (creșterea dimensiunilor h_1 și h_2 în scopul creșterii presiunii ar conduce la sporirea exagerată a rețelei de turnare și deci la un consum mare de material).

De aceea, în scopul măririi fluidității aliajelor topite turnate, la realizarea pieselor de dimensiuni mici, cu pereți subțiri și configurație complexă, se face umplerea formelor prin suprapresiune. Astfel se realizează umplerea suficient de rapidă a cavității formei, compensându-se scăderea temperaturii datorată conducției pereților formei.

În sensul mai larg, prin procedee de turnare sub presiune se înțeleg acele procedee de turnare la care se aplică o presiune exterioară (peste cea atmosferică) în timpul curgerii, solidificării și răcirii aliajelor în cavitatea formei.

Criteriile de clasificare ale acestor procedee pot fi:

- natura agentului care realizează presiunea (gaz, câmp electromagnetic, efect mecanic);
- modul și direcția de exercitare a presiunii în timpul curgerii și a solidificării;
- valorile suprapresiunilor utilizate.

O variantă, care folosește presiunea de gaz dirijată unilateral, se întâlnește la turnarea în forme temporare din amestec de formare obișnuit, când sunt utilizate maselotele închise cu presiune atmosferică sau cu suprapresiune creată cu cartuș de gaze.

3.8.3.1. Turnarea la presiuni înalte

Procedeul se caracterizează printr-o viteză ridicată de umplere a cavității formei permanente, care se face sub acțiunea unei suprapresiuni realizate pe cale hidraulică sau mecanică, montate pe mașini speciale de turnare. Presiunea utilizată se încadrează în domeniul 10…200 MPa.

Procedeul se utilizează pentru obținerea pieselor de dimensiuni mici și medii cu pereții subțiri, în condiții de precizie dimensională și de calitate ridicată a suprafeței.

Formele de turnare sunt scule complexe, scumpe, a căror utilizare devine rentabilă în condițiile unei producții de serie mare și de masă.

Mașinile de turnat sub presiune sunt, la rândul lor, investiții inițiale costisitoare.

Limitele de utizare a procedeului sunt:

- masa maximă a pieselor realizate: 150 kg;
- suprafața maximă a matriței: 0,6 m^2;

- calitatea suprafeţei piesei: R_a = 0,8…1,6 µm;
- materialul turnat: oţel, aliaje neferoase pe bază de Al, Cu, Mg, Zn, Sn, Pb.

Clasificarea tipurilor constructive de maşini de turnat la presiuni înalte se poate face după tipul camerei de compresie, deosebindu-se:

- *cu cameră caldă* (cuptorul de menţinere în stare topită a aliajului de turnat face parte integrantă din construcţia maşinii) - pentru turnarea aliajelor uşor fuzibile (θ_{top}< 450°C);
  - *cu piston vertical* ;
  - *cu piston orizontal* (fig.3.86);
  - *cu compresor* (pernă de gaz)
    - cu baie închisă;
    - cu baie deschisă (fig.3.87);
- *cu cameră rece* - orizontală;
  - verticală:
    - cu cameră de compresie în matriţă;
    - cu cameră de compresie separată.

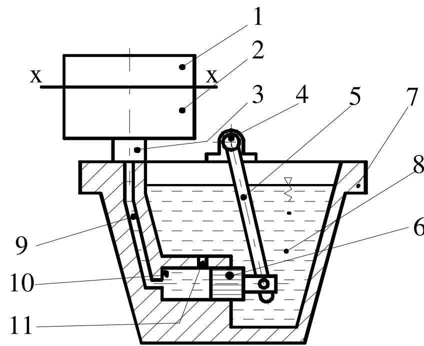


Fig. 3.86. Maşina de turnat cu cameră caldă cu piston orizontal:
1 - semimatriţa mobilă; 2 - semimatriţa fixă; 3 - duza de alimentare; 4 - motorul de acţionare; 5 - mecanismul de acţionare; 6 - pistonul; 7 - cuptorul de menţinere; 8 - aliajul topit; 9 - canalul de alimentare; 10 - camera de compresie; 11 - duza de admisie a aliajului topit; x-x-plan de separaţie.

O variantă constructivă de maşină cu cameră caldă este cea a maşinii *cu piston orizontal* (fig.3.86). Această maşină este utilizată în cazul pieselor de dimensiuni mai mari, permiţând injectarea unor volume mai mari de material prin cursa mai mare a pistonului orizontal faţă de cel vertical.

Maşinile cu cameră caldă au drept principal dezavantaj prezenţa cuptorului de menţinere, care generează probleme dificile legate de coroziunea elementelor maşinii prin contactul prelungit cu aliajul topit.

Maşina din figura 3.87 foloseşte pentru realizarea suprapresiunii necesare injectării aliajului lichid în cavitatea matriţei un gaz purtător (aer sau azot) furnizat de un compresor instalat pe maşină. *Maşinile cu gât de lebădă* funcţionează cu baia deschisă şi cu presiune de aer. *Maşinile cu baie închisă* (fig.3.88) se folosesc în cazul aliajelor uşor oxidabile pentru a le proteja de acţiunea oxigenului din atmosferă (de regulă ca gaz de compresie se foloseşte azotul).

Maşinile cu compresor dezvoltă presiuni de lucru inferioare celor cu piston, dar sunt preferate datorită construcţiei simple şi întreţinerii uşoare, precum

şi gabaritului redus. Ele sunt folosite cu precădere la turnarea aliajelor neferoase uşoare (Al, Mg).

Maşinile de turnat sub presiune cu cameră rece utilizează un cuptor de topire (elaborare)/menținere montat separat de maşina propriu-zisă, care poate deservi mai multe maşini succesiv. Acest fapt conduce la eliminarea coroziunii accelerate termic a elementelor maşinii aflate în contact prelungit cu aliajul topit (pistoane, plunjere, duze, elemente de etanşare) - principalul dezavantaj al maşinilor cu cameră caldă.

Alimentarea cu aliaj topit a camerei de compresie a maşinii se poate face manual sau mecanizat. Dozarea trebuie să se facă precis, corespunzător volumului cavității matriței închise.

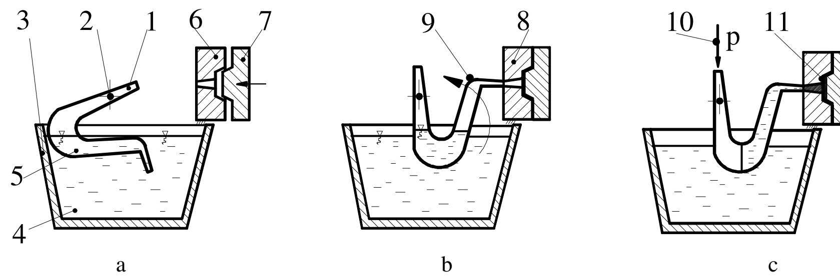


Fig. 3.87. Maşina de turnat cu cameră caldă cu compresor şi dispozitiv de alimentare tip gât de lebădă:
a - umplerea alimentatorului, închiderea matriței; b - realizarea contactului etanş cu matrița; c – injectarea aliajului lichid în cavitatea matriței; 1 - dispozitivul gât de lebădă; 2 - articulație; 3 - cuptorul de menținere; 4 - aliajul topit; 5 -umplerea alimentatorului; 6 - semimatrița fixă; 7 - semimatrița mobilă; 8 - matrița închisă; 9 - poziția de injectare; 10 - gaz pentru compresie; 11 - piesa.

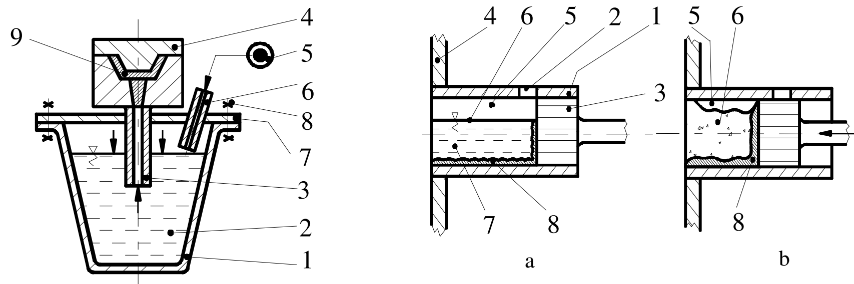


Fig. 3.88. Maşina de turnat cu cameră caldă cu compresor cu baie închisă:
1 - cuptorul de menținere; 2 - aliajul topit; 3 - lance de alimentare; 4 - matrița închisă; 5 - compresor; 6 - lance de compresie; 7 - capac; 8 - dispozitiv de etanşare; 9 - piesa turnată.

Fig. 3.89. Maşina de turnat cu cameră rece cu piston orizontal:
a - încărcarea; b - comprimarea; 1 - camera de compresie orizontală; 2 - orificiul de încărcare; 3 - piston; 4 - matrița; 5 - aer; 6 - impurități; 7 - aliaj lichid; 8 - cruste de solidificare.

Pentru exploatarea eficientă a maşinilor cu cameră rece trebuie să se aibă în vedere particularităţile de curgere şi de solidificare a aliajului lichid înainte de injectarea lui în matriţă. Utilizarea camerei reci de compresie conduce la demararea solidificării aliajului lichid înainte de injectarea lui în cavitatea matriţei, prin contactul cu pereţii camerei de compresie; din acest motiv, este important modul în care aliajul topit este comprimat şi injectat în matriţă (fig.3.89).

La *comprimarea pe direcţie orizontală a topiturii apare* o amestecare eterogenă în masa aliajului a impurităţilor, a gazelor din atmosferă şi a crustelor de aliaj deja solidificat, care sunt împinse în cavitatea matriţei. Pentru a se preîntâmpina acest fenomen nedorit au fost concepute maşini cu cameră de compresie verticală, cu contrapresiune (fig.3.90), sau camera de compresie a fost plasată mai aproape de cavitatea generatoare a piesei, chiar în interiorul matriţei.

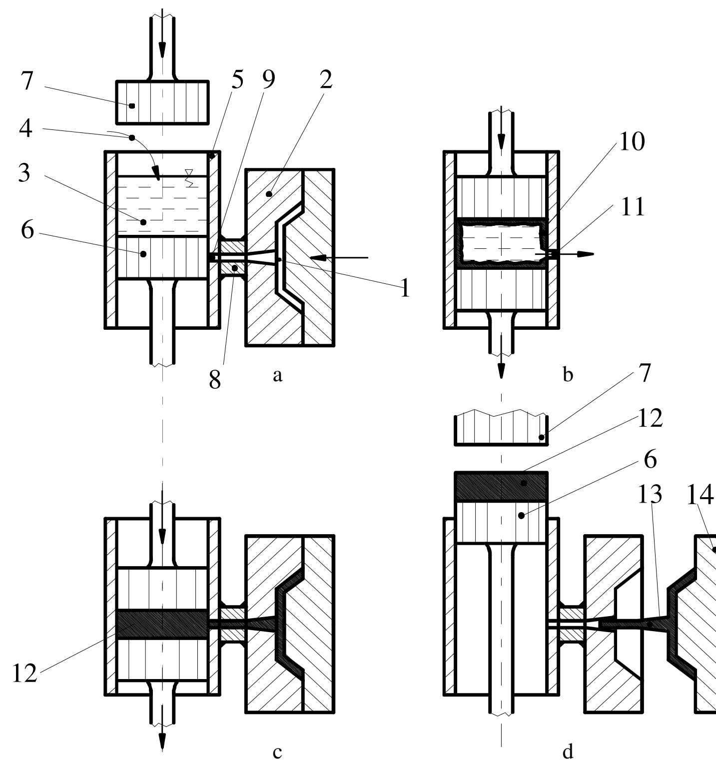


Fig. 3.90. Funcţionarea maşinii de turnat cu cameră rece cu piston vertical:
a - umplerea camerei şi închiderea matriţei; b, c - umplerea matriţei; d - extragerea piesei;
1 - cavitatea matriţei; 2 - semimatriţa fixă; 3 - aliaj lichid; 4 - umplerea camerei de compresie;
5 - camera de compresie; 6 - piston de contrapresiune; 7 - piston de compresie; 8 - duză;
9 - orificiul de alimentare; 10 - cruste de solidificare; 11 - aliaj lichid; 12 - maselotă;
13 - piesa brut turnată; 14 - semimatriţa mobilă.

Maşinile de turnat cu cameră de compresie verticală, cu umplerea matriţei cu contrapresiune prezintă, avantajul că impurităţile şi crustele de solidificare rămân în camera de compresie, în timp ce aliajul lichid umple cavitatea matriţei.

Funcţionarea maşinii în cele patru etape distincte se prezintă în figura 3.90. Umplerea 4, a camerei de compresie 5, cu aliajul lichid 3, are loc după închiderea prealabilă a matriţei 2 (fig.3.90. a). La această etapă pistonul de contrapresiune 6, obturează orificiul de alimentare 9, al camerei de compresie, astfel încât aliajul lichid nu poate pătrunde prin duza 8, în cavitatea matriţei 1. În etapa a doua, pistonul de compresie 7 este acţionat, creându-se presiune în camera de compresie până la atingerea valorii prestabilite prin reglarea pistonului de contrapresiune 6, care se retrage având loc injectarea aliajului lichid 11 în cavitatea matriţei 1, prin orificiile de alimentare 9 şi duza 8 (fig.3.90. b). În camera de compresie rămâne un volum de material constituit în special din crustele de solidificare 10 şi din impurităţile de la suprafaţa aliajului lichid. După solidificarea piesei (fig.3.90. c) are loc deschiderea matriţei. Simultan cu retragerea pistonului 7, pistonul de contrapresiune 6 se ridică şi extrage maselota 12, rămasă în camera de compresie (fig.3.90. d). Această variantă prezintă şi avantajul că defectele de turnare (incluziuni gazoase şi nemetalice) sunt concentrate în acest volum de material 12, care se îndepărtează.

3.8.3.2. Turnarea la presiuni joase

Procedeul este foarte asemănător (ca aspect al instalaţiei folosite) cu turnarea la presiuni înalte, varianta cu cameră de compresie caldă, cu compresor şi baie închisă, deosebirea constând doar în regimul de presiune folosit (fig.3.91).

Din figura 3.91 se remarcă regimul mai redus de presiune utilizat la turnarea la joasă presiune - de 50...140 ori mai mic decât al turnării la presiune înaltă, precum şi durata ciclului de lucru (de 50 ori mai mare la turnarea la joasă presiune).

Turnarea la joasă presiune constituie o alternativă mai rentabilă faţă de turnarea la presiuni înalte, deoarece instalaţiile sunt mai ieftine şi mai uşor de întreţinut în condiţiile în care nivelul calitativ al pieselor realizate este foarte apropiat.

Vitezele de curgere a aliajului în cavitatea matriţei sunt de circa 1,5m/s...2,5m/s, comparabile cu cele de la turnarea prin cădere liberă.

Viteza de umplere a cavităţii formei variază în trepte, după cum se poate observa din figura 3.91: aliajul se ridică lent până la nivelul alimentatorului reţelei de turnare I, după care se măreşte presiunea din sistem şi aliajul umple mai rapid forma de turnare II; pe măsura creşterii rezistenţei hidraulice la umplerea cavităţii formei are loc creşterea în continuare a presiunii din camera de compresie caldă III, astfel încât să se învingă rezistenţa creată de începerea procesului de solidificare a piesei. După umplerea completă a cavităţii formei, presiunea în sistem este menţinută constantă IV, până la solidificarea piesei. După solidificare, presiunea

scade V, pentru a permite deschiderea matriței şi extragerea piesei.

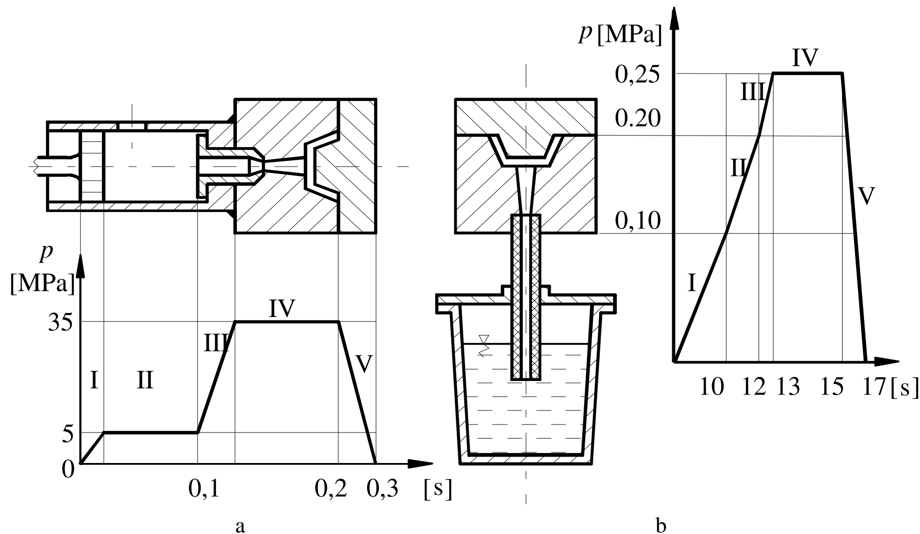


Fig. 3.91. Variația presiunii în camera de compresie şi în cavitatea matriței la turnarea sub presiune: a - la presiune înaltă: I - avansul pistonului; II - umplerea matriței; III - creşterea presiunii; IV - menținerea presiunii (solidificarea sub presiune); V - depresurizarea; b - la presiune joasă: I - atingerea presiunii de regim şi urcarea aliajului lichid în rețeaua de turnare; II - umplerea cavității matriței; III - maselotarea; IV - menținerea (solidificarea sub presiune); V - depresurizarea.

O variantă a turnării la joasă presiune utilizează pentru crearea suprapresiunii forța electromagnetică exercitată asupra aliajului lichid (fig.3.92). În acest scop este folosită compresia realizată cu o *pompă magnetohidrodinamică.* Pompa, compusă din: bobinele 10, miezul 11, circuitul de admisie 12, realizează mişcarea electronilor liberi din aliajul topit 5 spre lancea de alimentare 8 şi apoi spre cavitatea matriței 1, cu ajutorul câmpului electromagnetic creat de bobinele 10 în miezul 11.

Componenta electrică a câmpului electromagnetic produce deplasarea electronilor spre pompă, cu antrenarea metalului lichid din creuzet, iar cea magnetică creează presiunea necesară urcării aliajului lichid spre cavitatea matriței.

Procedeul de turnare la joasă presiune se utilizează în producția de serie mare şi de masă a pieselor cu pereți subțiri, nervurați de tipul: carcaselor, capacelor, batiurilor, cutiilor, cu suprafețe şi volume mari, superioare celor admise de turnarea la presiuni înalte.

Construcția formelor este relativ mai simplă decât la turnarea la presiuni înalte, situându-se ca grad de complexitate între cochile şi matrițele de injecție. Specific acestora este alimentarea în sifon. Se pot utiliza, ca şi la cochile, miezuri din amestec de formare (temporare).

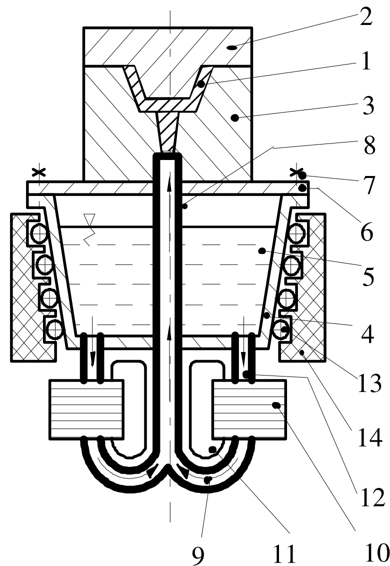


Fig. 3.92. Principiul turnării la joasă presiune cu compresie magneto-hidrodinamică:
1 - cavitatea matriței; 2 - semimatrița fixă; 3 - semimatrița inferioară; 4 - creuzet de menținere; 5 - aliajul lichid; 6 - capac; 7 - dispozitiv de etanșare; 8 - lance de alimentare; 9 - sensul de parcurgere; 10 - bobine; 11 - miez; 12 - circuit de admisie al pompei; 13 - rezistori (sau inductor); 14 - izolație.

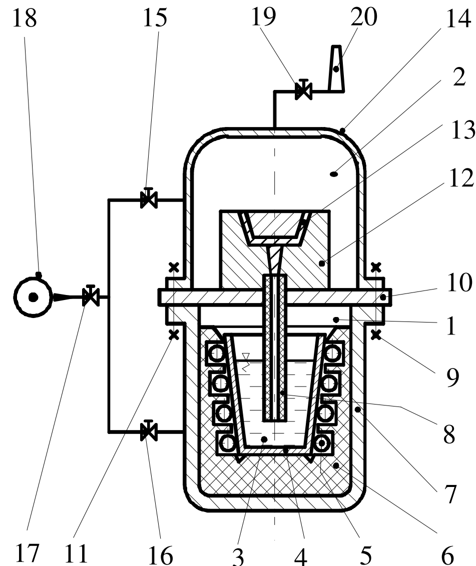


Fig. 3.93. Principiul turnării la joasă presiune cu contrapresiune pe durata solidificării:
1 - incinta cuptorului de menținere (camera de compresie caldă); 2 - incinta matriței de turnare (camera de compensație); 3 - aliajul lichid; 4 - creuzet; 5 - rezistență (sau inductor); 6 - suport izolator; 7 - manta; 8 - lance de alimentare; 9, 11 - dispozitive de etanșare a incintelor de lucru; 10 - placă suport; 12 - forma de turnare; 13 - cavitatea formei; 14 - peretele incintei; 15, 16 - supape de admisie comandate; 17 - robinet de admisie; 18 -compresor; 19 - supapă de evacuare; 20 - legătura cu atmosfera.

3.8.3.3. Turnarea cu contrapresiune

O variantă perfecționată a procedeului anterior este turnarea la joasă presiune *cu contrapresiune* pe durata solidificării (fig.3.93). În prima fază, supapa de evacuare 19 este închisă şi în sistem se creează suprapresiune în ambele incinte de lucru 1 şi 2. Aliajul lichid 3 rămâne imobil în creuzetul 4. Când se atinge o suprapresiune de circa 2 MPa, se închide supapa 15 şi se deschide treptat supapa de evacuare 19, creându-se o diferență de presiune între cele două incinte, care face ca aliajul lichid 3 să urce prin lancea de alimentare 8 şi să umple cavitatea formei de turnare 13.

Acest procedeu asigură o umplere mai bună a cavității formei, aliajul lichid fiind - pe de o parte - împins din incinta de compresie 1, iar - pe de altă parte - este aspirat de depresiunea creată în camera de compensație 2.

Pe durata solidificării presiunea creşte din nou în camera de compensație, asigurând o suprapresiune asupra formei umplute, astfel încât se produce infiltrarea aliajului lichid printre cristalele deja formate în masa piesei, eliminându-se porozitățile axiale formate prin contracție. Datorită prezenței aliajului lichid printre cristalele solidificate, structura piesei devine mobilă, permițând deformarea microplastică sub acțiunea suprapresiunii din incintă, fapt ce duce la obținerea unor structuri compacte, chiar şi în cazul pieselor cu pereți groşi.

Ca avantaje ale procedeului de turnare în contrapresiune se pot evidenția:

- controlul precis al turnării (cantitatea turnată, timpul de umplere a formei, controlul solidificării);

- modul de turnare nu depinde de presiunea care acționează asupra aliajului topit;

- distribuirea uniformă a energiei mecanice a curgerii topiturii, fără întreruperi pe suprafața piesei;

- posibilitatea turnării în forme permanente sau temporare cu miezuri temporare, fără a exista pericolul distrugerii acestora, indiferent de presiunea de lucru;

- reducerea aderențelor la turnarea în forme temporare;

- dirijarea procesului de solidificare prin controlul vitezei de umplere a formei;

- reducerea volumului maselotelor prin acțiunea presiunii gazului din incintă;

- extinderea zonei de acțiune a maselotelor, chiar atunci când sunt amplasate sub secțiunile alimentate;

- reducerea limitelor referitoare la piesele turnate: grosimile de pereți, trecerile dintre secțiuni, masa şi dimensiunile pieselor;

- degazarea controlată a aliajului topit;

- calitatea deosebită a pieselor turnate: creşterea durității cu 20…40% şi a rezistenței la rupere cu 10…40% față de turnarea în cochilă.

Procedeul se aplică la realizarea pieselor importante, utilizate în tehnica vidului, instalațiile hidraulice, industria electrotehnică, aeronautică, energetică nucleară şi clasică, electronică şi altele.

3.8.4. Turnarea prin aspirație

Acest procedeu utilizează *depresiunea relativă* (vidul), dintre cavitatea formei şi baia metalică a creuzetului de menținere, pe durata alimentării şi umplerii formei şi a solidificării piesei.

Procedeul este utilizat pentru realizarea pieselor de precizie ridicată, cu dimensiuni mici şi medii, din aliaje uşoare, în producţia de serie mare şi de masă. Proprietăţile fizico-mecanice ale pieselor turnate prin acest procedeu sunt foarte bune: compactitate mare, lipsa defectelor de structură, finisare uniformă a structurii în masa piesei şi cu grad de dispersie a eutecticului şi eutectoidului foarte ridicat.

Sunt utilizate forme metalice răcite cu apă, de tipul cristalizoarelor, şi miezuri permanente, de tip diafragmă sau temporare. Formele asamblate şi montate în instalaţia de turnare trebuie să asigure o etanşeitate la vid corespunzătoare.

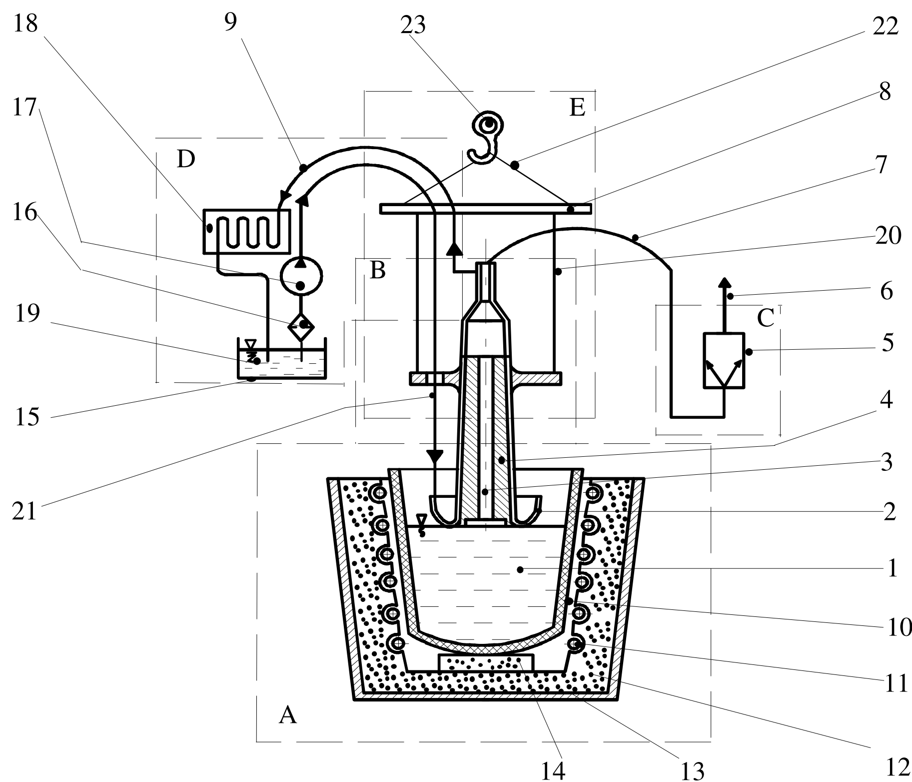


Fig. 3.94. Schema de principiu a unei instalaţii de turnat prin aspiraţie:
A - cuptorul de menţinere; B - forma de turnare; C - instalaţia de vidare;
D - instalaţia de răcire a cristalizorului; E - instalaţia de manevrare a cristalizorului;
1 - aliajul lichid; 2 - cristalizor; 3 - miez; 4 - piesă; 5 - pompă de vid; 6 - coş de evacuare a gazelor; 7 - racord flexibil; 8 - traversă mobilă; 9 - racorduri flexibile; 10 - creuzet; 11 - rezistenţe electrice; 12 - izolaţie; 13 - manta; 14 - suportul creuzetului; 15 - rezervor; 16 - filtru; 17 - pompă de recirculare; 18 - rezistenţă electrică; 19 - termostat; 20 - radiator; 21 - agent de răcire; 22 - cadru de susţinere; 23 - cârlig de ridicare.

Etapele procesului tehnologic de turnare prin aspiraţie sunt (fig. 3.94):

- pregătirea cristalizorului în vederea turnării: curăţirea suprafeţelor interioare, curăţirea ciocului, montarea miezului şi asamblarea formei de turnare, verificarea circuitelor de vid şi de răcire, verificarea instalaţiei de manevrare;

- imersarea (*h* = 10...30 mm) vârfului („ciocului”) cristalizorului 2, în aliajul lichid 1, din creuzetul 10 al cuptorului de menţinere A (fig.3.94);

- crearea depresiunii cu ajutorul instalaţiei de vidare C şi aspirarea aliajului din creuzet în cristalizor;

- solidificarea piesei 4, sub depresiune (fapt ce conduce la o degazare foarte bună a aliajului topit şi, implicit, la o diminuare a mărimii şi densităţii suflurilor, sitei şi cariilor în masa piesei turnate);

- decuplarea instalaţiei de vidare în momentul atingerii unei grosimi satisfăcătoare de perete (fapt deosebit de important mai ales la turnarea pieselor cave cu miez tip diafragmă, pentru a se permite scurgerea în creuzetul de menţinere a surplusului de topitură);

- ridicarea cristalizorului şi extragerea piesei turnate.

Pompa de vid creează depresiuni în domeniul 0,65…13 MPa, la debite de 0,6 m^3/h, la o putere instalată de 0,5 kW. Pentru a se atenua şocurile din instalaţia de vidare, precum şi pentru a beneficia de viteze mari de aspiraţie, cu puteri instalate reduse, în instalaţie se montează alături de pompă un acumulator de vid. Apa de răcire a cristalizorului trebuie menţinută la o temperatură minimă de 40°C, pentru a se preveni apariţia apei de condensare în interiorul formei de turnare, iar din acest motiv, în instalaţia de răcire D este prevăzută rezistenţa electrică 18.

Realizarea pieselor cave turnate prin aspiraţie prezintă următoarele particularităţi (fig. 3.95):

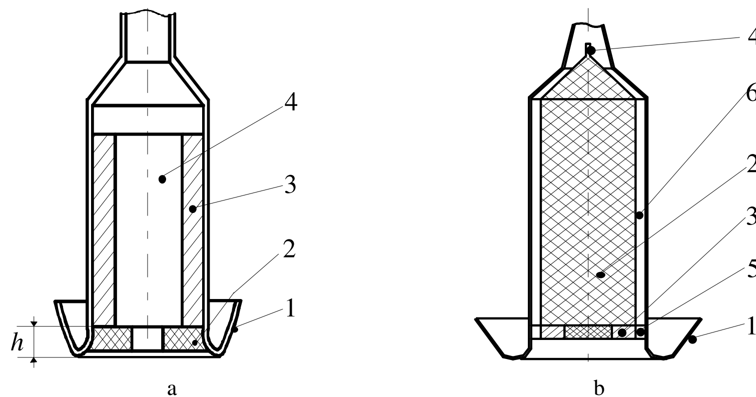


Fig. 3.95. Construcţia miezurilor pentru turnarea prin aspiraţie:
a - miez tip diafragmă: 1 - ciocul cristalizorului; 2 - diafragma; 3 - piesa cavă; 4 - golul din piesă; *h* - adâncimea de imersare; b - miez temporar: 1 - cristalizor; 2 - miez din amestec; 3 - marcă pentru fixarea miezului; 4 - armătură pentru fixarea miezului la partea superioară; 5 - orificii pentru alimentarea cu aliaj; 6 - cavitatea generatoare a piesei.

- se pot utiliza miezuri permanente de tip diafragmă, de construcție simplă, dar care nu asigură realizarea unor pereți cu grosime uniformă;

- se pot utiliza miezuri din amestec de formare (rezemate pe mărci), care realizează grosimi uniforme, dar crează probleme legate de rezemarea miezului în interiorul cristalizorului;

- solidificarea pieselor cave se produce dirijat, bidirecțional, de la exterior spre interior şi de sus în jos, astfel încât se realizează o alimentare continuă cu aliaj topit a microretasurilor de contracție, obținându-se o piesă cu caracteristici mecanice ridicate şi uniforme.

Depresiunea de regim este valoarea diferenței de presiune dintre atmosferă şi cristalizor, necesară pentru a obține o anumită lungime de piesă. Pentru o valoare dată a unei depresiuni de regim, se pot realiza lungimi diferite de piese, în funcție de greutatea specifică a aliajului din care este executată piesa.

Pentru o lungime a piesei H_p**,** valoarea depresiunii de regim necesară H_r se calculează cu relația

$$H_r = \frac{H_p \cdot \gamma_p}{13,6} \quad \text{[cm]} \quad , \tag{3.21}$$

unde γ_p este greutatea specifică a materialului piesei în [daN/cm^3].

În tabelul 3.25 sunt date valorile uzuale ale lungimii pieselor turnabile prin aspirație, pentru o depresiune de regim obişnuită.

Tabelul 3.25. *Lungimi realizabile la o depresiune de regim H_r=1 daN/cm^2*

Materialul piesei	Greutatea specifică [daN/cm^3]	Lungimea maximă H_p [cm]
Al	2.700	382,80
Cu	8.920	115,80
Fe	7.860	131,50
Mg	1.740	594
Mo	10.200	101,33
Ni	8.900	116,13
Pb	11.340	91,14
Sn	7.280	141,97
Ti	4.500	229,68
Zn	7.140	144,76

Presiunea remanentă a vidului din cristalizor p_V, se determină ca diferența dintre presiunea atmosferică, exprimată în mm coloană Hg, şi depresiunea de regim H_r

$$p_v = 760 - H_r \quad \text{[mm Hg]}. \tag{3.22}$$

Determinarea adâncimii minime de imersare a ciocului cristalizorului în baia metalică se face din condiția ca volumul băii dintre două aspirații succesive să fie cel puțin egal cu cel al piesei turnate

$$\pi \cdot R^2 \cdot H_i = \pi \cdot r^2 \cdot H_p + \pi \cdot R^2 \cdot H_f, \qquad (3.23)$$

unde: H_i este adâncimea de imersare inițială, față de nivelul băii metalice, a ciocului cristalizorului; H_p - lungimea piesei; H_f - adâncimea finală față de suprafața băii metalice din creuzetul cuptorului de menținere, la care rămâne ciocul cristalizorului după terminarea aspirației.

Ținând seama de experiența practică, s-a constatat că o valoare H_f = 10 mm, este suficientă pentru a se menține depresiunea din cristalizor pe durata solidificării piesei turnate. În aceste condiții, relatia (3.21) devine

$$H_i = H_p \cdot \frac{r^2}{R^2} + 10 \ \ [\text{mm}] \ , \qquad (3.24)$$

unde: r este raza în secțiune transversală a piesei turnate; R - raza în secțiune transversală a creuzetului de menținere.

Pentru turnarea pieselor cave relația (3.24) devine

$$H_i = H_p \cdot \frac{(r_1^2 - r_2^2)}{R^2} + 10 \ \ [\text{mm}] \ , \qquad (3.25)$$

unde: r_1 este raza exterioară a secțiunii transversale a piesei turnate; r_2 - raza interioară a secțiunii transversale a piesei turnate; R - raza în secțiune transversală a creuzetului de menținere.

3.8.5. Turnarea centrifugală

Procedeul constă în turnarea aliajului lichid în forme temporare sau permanente aflate în mişcare de rotație. Forța centrifugă creează o presiune în interiorul formei care poate să conducă fie la realizarea de piese cave - fără a utiliza miezuri (când axa de rotație coincide cu axa de simetrie a piesei) sau la realizarea de piese cu compactitate ridicată (când axa piesei este plasată excentric față de axa de rotație a formei).

Modificarea condițiilor de curgere a aliajului la turnarea centrifugală în raport cu cea gravitațională (obişnuită) este definită prin coeficientul gravitațional k (sau de supraîncărcare), dat de relația

$$k = \frac{F_c}{G} = \frac{\omega^2 \cdot r}{g}, \qquad (3.26)$$

unde: ω este viteza unghiulară a formei; r - distanța particulei de material față de axa de rotație.

Acest coeficient arată de câte ori forța centrifugă F_c este mai mare decât forța gravitațională G.

Lungimea şi diametrul exterior al piesei turnate depind de dimensiunile formei, iar grosimea peretelui piesei turnate de cantitatea de metal sau aliaj topit introdus în formă. Precizia dimensională a piesei depinde de mărimea forței centrifuge şi în special de viteza unghiulară ω.

Se deosebesc două metode:

- turnarea în forme cu axă de rotație verticală;
- turnarea în forme cu axă de rotație orizontală.

În cazul *turnării în forme cu axă de rotație verticală* (fig.3.96), la stabilirea vitezei de rotație, fiecare particulă din aliajul lichid m_i acționează asupra celorlalte, astfel încât presiunea în interiorul formei de turnare va creşte de la axa de rotație spre peretele formei.

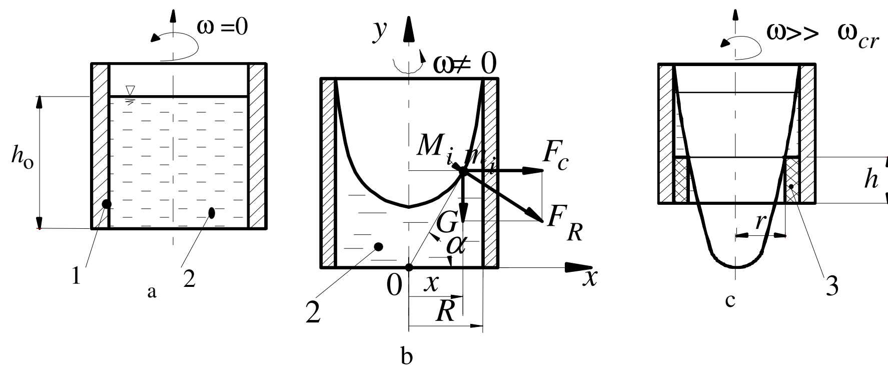


Fig. 3.96. Forma suprafeței libere a aliajului centrifugat cu axă de rotație verticală: a - poziția inițială, când ω=0; b - când forma se roteşte cu viteza unghiulară ω; c - la o viteză ungiulară ω mai mare decât viteza unghiulară critică $ω_{cr}$; 1 - forma de turnare; 2 - aliajul lichid; 3 - piesa.

Deoarece în masa unui lichid presiunea se transmite uniform în toate direcțiile (principiul lui Pascal), aliajul lichid se va ridica pe pereții formei, cu atât mai mult cu cât punctul considerat este mai departe de axa de rotație. Punând condiția de echilibru pe tangenta în punctul M_i se obține

$$G \cdot \sin\alpha = F_c \cdot \cos\alpha ; \quad \text{tg}\alpha = \frac{x \cdot \omega^2}{g} . \qquad (3.27)$$

Ținând cont de definiția tangentei

$$\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}x} = \mathrm{tg}\alpha \qquad (3.28)$$

se obține curba

$$Y = \frac{\omega^2}{2g} \cdot x^2 + C \quad , \qquad (3.29)$$

care este ecuația unei parabole.

Se observă că grosimea peretelui piesei este neuniformă pe verticală, neuniformitate care va fi cu atât mai mică cu cât viteza unghiulară ω este mai mare, cu cât înălțimea h a piesei este mai mică şi cu cât raza r este mai mare (fig.3.96. c). Din această cauză, turnarea centrifugală în forme cu axă de rotație verticală se poate aplica în bune condiții numai la realizarea pieselor subțiri de înălțime mică şi diametru mare, cum sunt bucşele, coroanele, inelele, flanşele, bandajele etc.

În cazul *turnării în forme cu axa de rotație orizontală* pentru a obține ecuația curbei după care se distribuie metalul din interiorul formei, se scrie echilibrul forțelor care acționează asupra particulei de masă m_i în punctul M_i situat pe cercul de rază r (fig.3.97. a). Componentele forței centrifuge verticale F_v şi orizontale F_0 sunt exprimate de relațiile

$$F_v = mr\omega^2 \cos\varphi ; \qquad F_0 = mr\omega^2 \sin\varphi . \qquad (3.30)$$

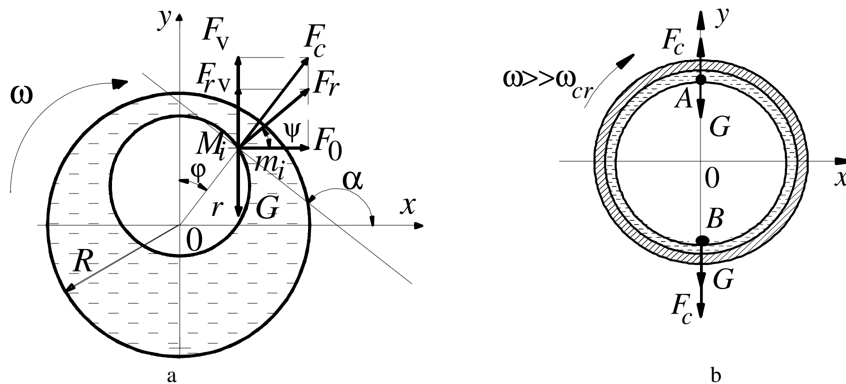


Fig.3.97. Forma suprafeței libere a aliajului centrifugat în forma cu axă de rotație orizontală:
a - forțele care acționează asupra unei particule de material lichid când ω≠0, dar $\omega < \omega_{cr}$;
b - cazul când $\omega >> \omega_{cr}$.

Mărimea forței verticale F_v este modificată cu valoarea greutății G, deci forța rezultantă pe verticală F_{rv} are expresia

$$F_{rv} = F_v - G = mr\omega^2 \cos\varphi - mg \,. \tag{3.31}$$

Din compunerea forței orizontale F_0 cu forța rezultantă pe verticală F_{rv} rezultă o forță rezultantă F_r situată sub unghiul ψ, față de orizontală, dat de relația

$$\mathrm{tg}\psi = \frac{F_{rv}}{F_0} = \frac{r\omega^2 \cos\varphi - g}{r\omega^2 \sin\varphi} \,. \tag{3.32}$$

Având în vedere că

$$\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}x} = \mathrm{tg}\alpha = \mathrm{tg}\left(90^\circ + \psi\right) = -\mathrm{ctg}\psi \,, \tag{3.33}$$

rezultă

$$\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}x} = -\frac{r\omega^2 \sin\varphi}{r\omega^2 \cos\varphi - g} \,. \tag{3.34}$$

Ținând cont de coordonatele punctului M_i, exprimate de relațiile

$$x = r\sin\varphi ;\;\; y = r\cos\varphi \tag{3.35}$$

se obține

$$\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}x} = \frac{\omega^2 x}{\omega^2 y - g} \;, \tag{3.36}$$

care prin integrare conduce la ecuația

$$x^2 + \left(y - \frac{g}{\omega^2}\right)^2 = \mathrm{constant} \,. \tag{3.37}$$

Ecuația (3.37) arată că, în forma metalică cu ax orizontal, când aceasta se roteşte cu o viteză unghiulară ω, metalul sau aliajul lichid se distribuie după un cerc cu excentricitatea g/ω^2.

Deoarece solicitarea particulei de metal este variabilă cu poziția particulei (fig.3.97. b, în punctul *A* cele două forțe se scad, iar în punctul *B* se însumează; pentru a obține piese de grosime constantă se pleacă de la condiția de echilibru în punctul *A*, pentru a determina viteza unghiulară critică ω_{cr}

$$G = F_c \,, \tag{3.38}$$

din care se deduce

$$\omega_{cr} = \sqrt{\frac{g}{r}} \;;\; \text{respectiv} \;\; n_{cr} = \frac{30}{\sqrt{r}} \quad \text{[rot/min]} \;, \qquad (3.39)$$

unde n_{cr} este turația critică de rotire a formei, pentru g = 9,81 m/s^2.

În practica industrială s-a constatat necesitatea unei turații mai mari a formei de turnare n_f, față de turația critică

$$n_f = k \cdot n_{cr} \quad \text{[rot/min]} \;, \qquad (3.40)$$

unde k este un coeficient care ține seama de natura aliajului turnat şi de tipul procesului de turnare utilizat.

În cazul turnării pieselor cave, de tipul țevilor, având raportul dintre raza exterioară R_{max} şi cea interioară r_i a piesei

$$\frac{R_{max}}{r_i} = 1{,}15 \;, \qquad (3.41)$$

turația formei n_f, se calculează cu relația empirică

$$n_f = \frac{k_0}{\sqrt{R_{max}}} \quad \text{[rot/min]} \;, \qquad (3.42)$$

unde k_0 este un coeficient determinat experimental, care ține seama de natura şi de densitatea aliajului, de poziția axei de rotație şi de tipul piesei turnate.

Un alt parametru foarte important ce trebuie determinat este presiunea aliajului care se determină în funcție de poziția axei de rotație a formei.

Presiunea aliajului la turnarea centrifugală cu axa de rotație verticală se determină cu relația

$$p = \gamma \cdot \frac{\omega^2}{2g} \cdot (r_a^2 - r_b^2) \quad \text{[N/m}^2\text{]} \;, \qquad (3.43)$$

unde: γ este greutatea specifică a aliajului [N/m^3]; r_a, r_b - distanțele dintre pozițiile succesive ale punctului curent M şi axa de rotație.

Presiunea aliajului la turnarea centrifugală cu axa de rotație orizontală se determină cu relația

$$p = \gamma \cdot \frac{\omega^2}{2g} \cdot \left(r^2 - r_i^2\right) \quad \text{[N/m}^2\text{]} \;, \qquad (3.44)$$

unde: r_i este raza interioară a piesei; r - distanța dintre poziția punctului curent M şi axa de rotație.

O variantă a celor două metode prezentate mai sus este *turnarea centrifugală cu axă de rotaţie excentrică* (fig.3.98). Procedeul se aplică la turnarea pieselor de mare precizie în forme coji cu modele uşor fuzibile. Procedeul mai este cunoscut şi sub denumirea de „turnarea pieselor fasonate”.

Turnarea centrifugală are o serie de avantaje:

- grosimea uniformă a peretelui piesei turnate;
- compactitatea peretelui piesei (gazele şi incluziunile se separă spre suprafaţa interioară a piesei);
- structura granulară fină a piesei turnate rezultată din răcirea cu viteză mare în forma metalică;
- gradul înalt de folosire a metalului turnat datorită lipsei reţelei de turnare, a răsuflătorilor şi a mselotelor;
- eliminarea aproape integrală a amestecului de formare, inclusiv a instalaţiilor de preparare;
- productivitatea muncii mult mai mare decât la alte procedee de turnare.

Are însă şi o serie de dezavantaje:

- apariţia unor crăpături longitudinale la o valoare prea ridicată a forţei centrifuge (deoarece piesa se contractă prin răcire, în timp ce forma se dilată prin încălzire şi între ele apare un joc);
- formarea crustei dure de fontă albă la turnarea pieselor din fontă cenuşie, ca urmare a unei viteze mari de răcire.

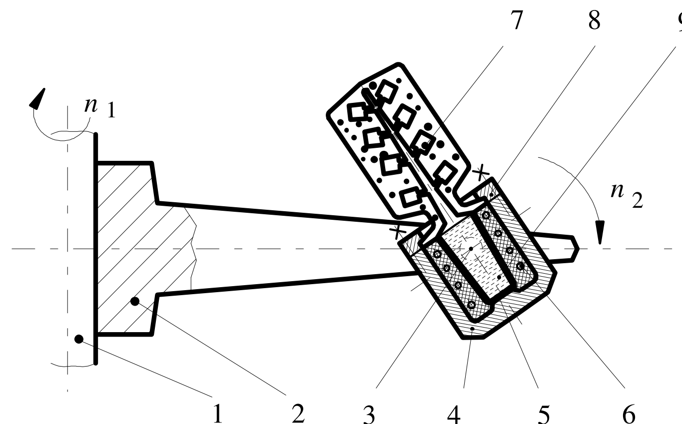


Fig. 3.98. Turnarea centrifugală cu axă de rotaţie excentrică:
1 - axa de rotaţie; 2 - braţ; 3 - pivot; 4 - cuptor de topire/menţinere; 5 - creuzet; 6 - rezistenţe; 7 - forma coajă; 8 - dispozitiv de fixare/etanşare a formei pe cuptor; 9 - aliajul de turnat;
n_1 - turaţia axului; n_2 - mişcarea relativă a formei.

Procedeul se aplică la obţinerea bucşelor din fontă şi din aliaje neferoase, a tuburilor din fontă şi din oţel, precum şi a unor piese cu gol interior

cilindric şi cu suprafaţa exterioară profilată (tuburi, coturi de canalizare). Permite, de asemenea, executarea unor piese bimetalice (în interiorul unei piese-suport executată dintr-un aliaj mai greu fuzibil şi mai ieftin, se toarnă un strat de aliaj mai uşor fuzibil, dar mai scump şi cu mare rezistenţă la coroziune, la uzură etc.).

3.8.6. Turnarea continuă

Turnarea continuă desemnează procedeele de turnare la care generarea piesei se face în mod continuu, prin răcirea dirijată a aliajului lichid într-un cristalizor. Turnarea şi evacuarea porţiunilor de piesă solidificată se face în mod continuu, până la obţinerea lungimii de piesă dorită, de regulă de ordinul zecilor de metri.

Prin turnare continuă se obţin piese având una din dimensiuni mult mai mare decât celelalte două, piese de lungimi sau înălţimi mari, de tipul tuburilor, ţevilor, barelor, tablelor; un caz aparte îl constituie turnarea continuă a pieselor individuale, precum lingourile mici de fontă pentru turnătorie (fig.3.99).

Turnarea continuă este cel mai productiv procedeu de realizare a pieselor lungi, practic fără reţea de turnare. În domeniul materialelor metalice turnarea continuă se aplică la realizarea semifabricatelor. În domeniul materialelor nemetalice prin turnare continuă se pot realiza atât semifabricate, cât şi piese finite, precum tuburi, furtune, cabluri izolate, foi de geam, silozuri, coşuri de fum etc.

Forma de turnare utilizată este cristalizorul, care asigură solidificarea dirijată şi formarea piesei.

Turnarea continuă este competitivă, în domeniul siderurgiei, cu laminoarele degrosisoare de mare capacitate, înlocuindu-le în ultimele două decenii la realizarea bramelor şi a ţaglelor. Procedeul este preferat laminării datorită următoarelor avantaje pe care le are:

- simplifică fluxul tehnologic, prin reducerea operaţiilor intermediare dintre instalaţia de elaborare (convertizor, cuptor cu arc) şi magazia de profile: transport, pregătirea formelor, turnarea lingoului, curăţirea pieselor, forjarea, laminarea etc.;
- reduce considerabil volumul deşeurilor de la turnarea lingourilor şi de la laminare;
- permite mecanizarea şi automatizarea complexă a proceselor;
- asigură o fiabilitate deosebită a instalaţiilor prin simplificări constructive importante;
- elimină fenomenul de segregare a elementelor care apare la turnarea lingourilor din oţeluri aliate;
- este un procedeu de înaltă productivitate şi cu o eficienţă economică deosebită, deoarece reduce cheltuielile legate de investiţia iniţială (spaţii şi instalaţii), personalul de exploatare şi întreţinere, defectele de fabricaţie, deşeurile tehnologice.

În turnătorii, procedeul este utilizat la realizarea semifabricatelor de tipul barelor, țevilor, benzilor, profilelor, sârmelor de mici dimensiuni, din aliaje neferoase şi fonte.

3.8.6.1. Turnarea continuă a pieselor individuale

Turnarea continuă poate fi utilizată şi pentru producerea pieselor de dimensiuni mici şi configurație foarte simplă, în producția de serie mare şi masă,

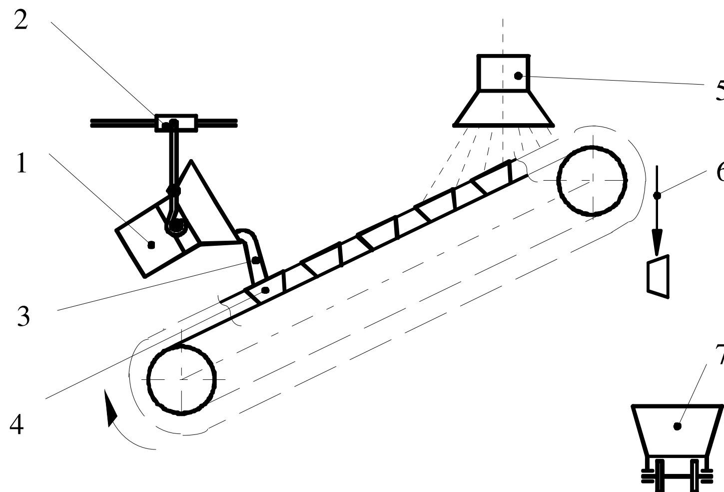


Fig. 3.99. Turnarea continuă a pieselor individuale:
1 - oală de turnare; 2 - instalație de transport (pod rulant); 3 - aliaj lichid; 4 - lanț din forme de turnare; 5 - duş de răcire; 6 - piese solidificate; 7 - vagonet de transport.

cum ar fi cazul lingourilor de fontă pentru turnătorii. În acest caz, procedeul este folosit datorită productivității şi eficienței foarte mari; ținând cont de faptul că procesul se desfăşoară continuu (alimentarea formelor, solidificarea, extragerea pieselor) şi de lipsa rețelei de turnare.

3.8.6.2. Turnarea continuă a tuburilor

Acest procedeu de turnare se prezintă în figura 3.100. În cazul instalației din figură, turnarea se face pe la partea superioară 4, a cristalizorului 2. Pe măsură ce se solidifică pereții piesei, platforma mobilă 7 coboară o dată cu partea solidificată a piesei, eliberând un nou volum în cavitatea dintre cristalizoare, care este cavitatea formei.

Lungimea maximă a tubului L_{max} este condiționată de mărimea cursei platformei mobile. Viteza de coborâre a platformei este reglată în funcție de viteza de solidificare a piesei 5.

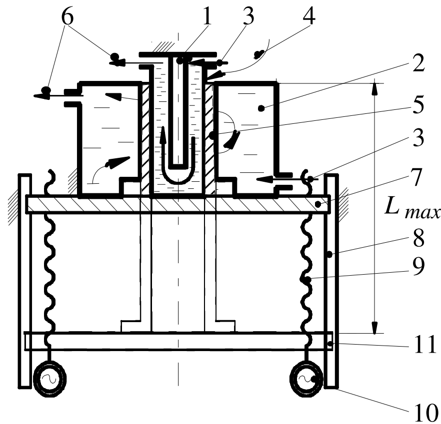


Fig. 3.100. Turnarea continuă a tuburilor de lungime medie:
1 - cristalizor interior; 2 - cristalizor exterior; 3 - admisie apă de răcire; 4 - alimentarea cu aliaj lichid; 5 - aliaj lichid; 6 - evacuare apă de răcire; 7 - platformă mobilă; 8 - ghidaje; 9 - şuruburi de mişcare; 10 - motoare electrice de acționare; 11 - poziția inferioară a platformei; L_{max} - lungimea maximă a piesei turnate.

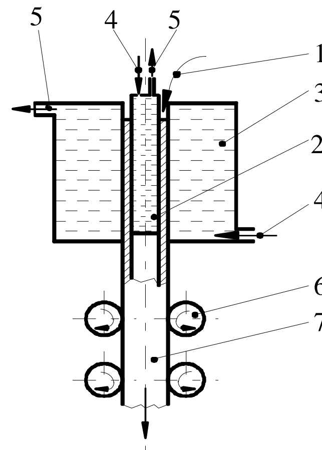


Fig. 3.101. Turnarea continuă a țevilor:
1 - turnarea aliajului; 2 - cristalizor interior; 3 - cristalizor exterior; 4 - admisie apă de răcire; 5 - evacuare apă de răcire; 6 - role de antrenare a piesei solidificate; 7 - piesa (țeava continuă).

3.8.6.3. Turnarea continuă a țevilor

Această metodă de turnare este foarte des utilizată. În figura 3.101 se prezintă schema de principiu a unei instalații pentru turnarea continuă a țevilor. Metalul sau aliajul lichid 1 se introduce între cristalizorul interior 2 şi cristalizorul exterior 3 prin care circulă apa de răcire 4 şi 5. Se formează țeava continuă 7 care este antrenată de rolele 6, până în dreptul unei instalații de debitare la dimensiunile dorite.

3.8.6.4. Turnarea continuă a produselor plate

În cazul turnării continue a produselor plate de tipul benzilor şi tablelor lățimea cristalizorului trebuie să fie cel puțin egală cu cea a piesei generate prin turnare (fig.3.102 şi fig.3.103).

3.8.6.5. Turnarea continuă a barelor şi sârmelor

În cazul turnării continue a barelor şi sârmelor rotunde şi profilate, cristalizorul are forma unor role 4 (fig.3.104), răcite la interior cu apă, care au pe partea laterală un canal profilat după profilul secțiunii piesei turnate: semirotund,

rotund, poligonal, oval, prismatic etc. Rolele cristalizorului realizează jumătate din profilul barei, cealaltă jumătate este obținută cu ajutorul unei benzi metalice elastice, profilate 5, care rulează peste rolele cristalizorului. Aliajul lichid este turnat între pereții rolei şi ai benzii (fig.3.104).

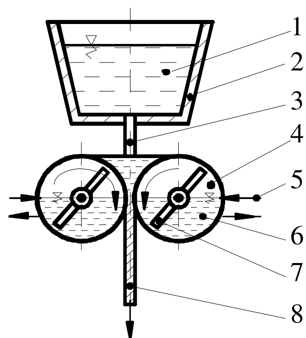


Fig. 3.102. Turnarea continuă a benzilor şi tablelor cu cristalizor cu cilindri: 1 - aliaj lichid; 2 - dozator; 3 - jet de aliaj lichid; 4 - cristalizor cu cilindri de antrenare; 5 - circuitul de răcire; 6 - apă de răcire; 7 - palete de răcire; 8 - piesa solidificată.

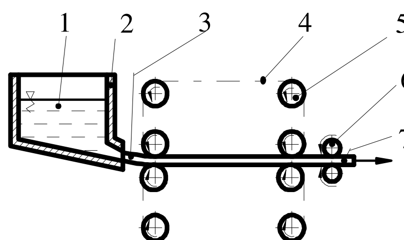


Fig. 3.103. Turnarea continuă a benzilor şi tablelor cu cristalizor cu bandă: 1 - aliaj lichid; 2 - dozator; 3 - jet de aliaj lichid; 4 - cristalizor cu bandă; 5 - role de antrenare a benzii răcite; 6 - role de antrenare a semifabricatului solidificat; 7 - piesa solidificată; 8 - lichid de răcire.

Modul cum are loc solidificarea pieselor obținute prin turnare continuă şi zonele solidificării se prezintă în figura 3.105.

Mărimea secțiunii zonei lichide tranzitorii III′ a conului de solidificare variază de la valori foarte mari ale unghiului conului (pentru piesele cu secțiunea transversală mare), la valori foarte mici ale unghiului (la piesele cu secțiune mică). Prin dirijarea procesului de solidificare se controlează mărimea unghiului conului de solidificare.

3.8.6.6. Turnarea continuă a sticlei

Prin turnare continuă se pot obține diferite produse din sticlă, cele mai des solicitate fiind:

- foile de geam sau produsele plate (fig.3.106);
- fibrele (fig.3.107);
- vata de sticlă (fig.3.108).

După turnare foile de geam sunt tăiate la dimensiunile normalizate şi se prelucrează prin şlefuire şi teşirea muchiilor.

Impregnarea fibrelor de sticlă are drept scop reducerea uzării prin frecare/abraziune la prelucrările ulterioare şi bobinare. Impregnarea se face cu amidon, răşini fenolice, epoxidice sau poliesterice.

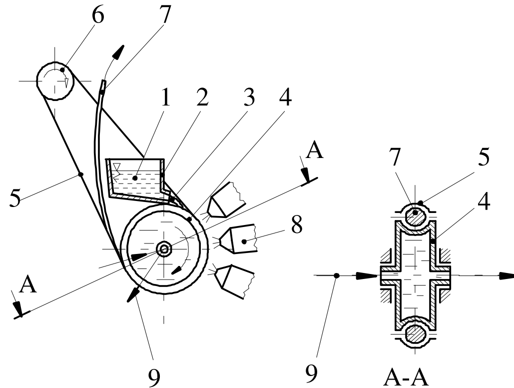


Fig. 3.104. Turnarea continuă a barelor şi sârmelor:
1 - aliaj lichid; 2 - dozator/alimentator;
3 - jet de aliaj lichid; 4 - cristalizor tip rolă;
5 - bandă profilată; 6 - role de întindere a benzii;
7 - piesa solidificată; 8 - duşuri de răcire a benzii;
9 - circuitul de răcire a rolei.

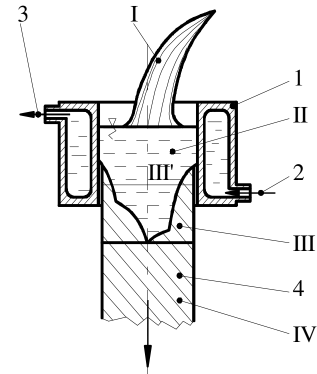


Fig. 3.105. Zonele de solidificare a pieselor obținute prin turnare continuă:
I - curgere; II - evacuarea căldurii de supraîncălzire; III - zona de solidificare; IV - răcirea completă a piesei; III′- zona lichidă tranzitorie;
1 - cristalizor; 2 - admisie apă de răcire; 3 - evacuare apă de răcire;
4 - piesa solidificată.

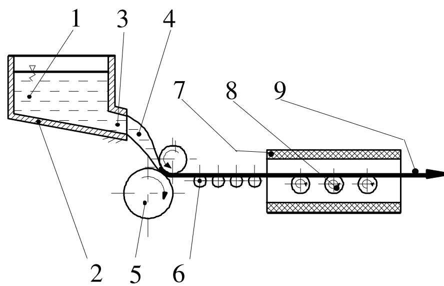


Fig. 3.106. Turnarea continuă a foilor de geam:
1 - sticlă topită; 2 - cuptor de elaborare;
3 - dozator; 4 - jet de sticlă topită; 5 - cristalizor cu cilindri; 6 - transportor cu role; 7 - cuptor tunel de recoacere; 8 - role de transport; 9 - foaia de geam.

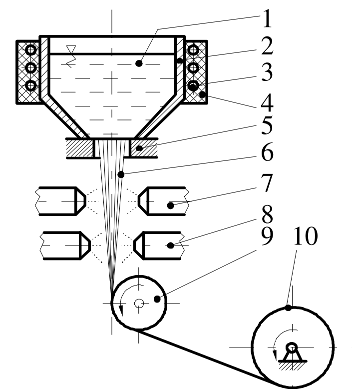


Fig. 3.107. Turnarea continuă a fibrelor de sticlă:
1 - sticlă topită; 2 - creuzet; 3 - rezistențe electrice; 4 - izolație; 5 - filieră pentru calibrare; 6 - fibre de sticlă topite; 7 - duşuri de răcire; 8 - duşuri de impregnare; 9 - rolă de înmănunchere; 10 - tambur de înfăşurare.

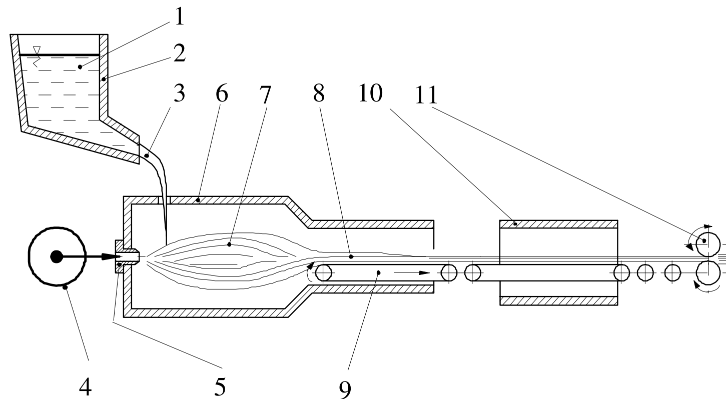


Fig. 3.108. Turnarea continuă a vatei de sticlă:
1 - sticlă topită; 2 - creuzet /dozator; 3 - jet de sticlă topită; 4 - sursă de aer comprimat; 5 - duză de pulverizare; 6 - cameră de depunere; 7 - jet pulverizat; 8 - fibre solidificate; 9 - transportor; 10 - cuptor de uscare; 11 - role de debitare.

3.8.6.7. Turnarea continuă a maselor plastice şi cauciucului

Prin turnare continuă se pot realiza produse tubulare lungi din cauciuc şi mase plastice, cum ar fi: tuburi, furtunuri, conductori izolanți etc. Schema de principiu a unei instalații de turnare continuă a maselor plastice se prezintă în figura 3.109. Masa plastică încălzită la temperaturi cuprinse între 370K şi 670K este transportată continuu de melcul 3 până în scula 7 (extruder sau filieră), rezultând în final produsul 9, antrenat de o bandă rulantă 10, spre zona de depozitare preliminară, unde se răceşte în aer sau este cufundat într-o baie de răcire.

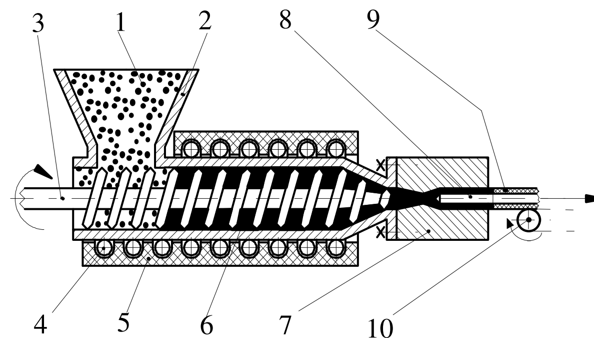


Fig. 3.109. Turnarea continuă a produselor tubulare din mase plastice şi/ sau cauciuc:
1 - granule; 2 - pâlnie dozator; 3 - melc transportor; 4 - rezistențe de încălzire; 5 - suport izolator; 6 - material topit (stare lichido-vâscoasă); 7 - extruder (filieră); 8 - miez; 9 - piesa solidificată; 10 - bandă rulantă.

3.8.6.8. Turnarea continuă a betoanelor

Prin turnare continuă se obțin construcții înalte din beton armat de mari dimensiuni, de secțiune circulară, poligonală sau prismatică cum ar fi: coşuri, turnuri, imobile, anvelope de reactoare nucleare, silozuri, baraje etc. Ca şi în cazul aliajelor, turnarea continuă a betoanelor este un procedeu de mare productivitate. Ca forme de turnare sunt utilizate cofrajele glisante sau păşitoare, care se deplasează (se ridică) pe măsură ce se produce solidificarea părții inferioare, sprijinindu-se pe aceasta. Astfel se realizează mai întâi pereții exteriori verticali ai construcției, compartimentarea şi planşeele fiind realizate ulterior prin alte procedee. Pentru alimentarea cu beton sunt utilizate bene transportate individual sau pompe de beton, care fac alimentarea continuă. Glisarea duce la scurtarea considerabilă a duratei de execuție, de la domeniul lunilor la cel al câtorva zile.

3.8.6.9. Turnarea continuă a materialelor compozite

La *materialele compozite metalice*, turnarea continuă se utilizează ca şi la materialele metalice propriu-zise. Procedeul se recomandă a fi utilizat în special pentru că permite solidificarea dirijată, prevenind apariția fenomenului de segregare.

La *materialele compozite nemetalice* pe bază de fibre de armare şi matrice, procedeul se referă, ca şi în cazul turnării continue a betoanelor, la depunerea matricei peste armătură.

3.8.7. Procesul tehnologic de obținere a unei piese prin turnare în forme permanente

Spre deosebire de turnarea în forme temporare, unde atenția tehnologului se focalizează pe conceperea modelului asamblat, în cazul utilizării formelor permanente efortul primordial constă în proiectarea formei de turnare - cochila, matrița sau cristalizorul. Formele de turnare permanente sunt mult mai scumpe decât cele temporare, deoarece ele sunt confecționate din materiale durabile, greu de prelucrat şi sunt apte să permită reutilizarea formei. Gradul de complexitate al formelor şi deci costul creşte la turnarea cu forțe suplimentare şi la utilizarea maşinilor de turnare.

3.8.7.1. Rentabilitatea procedeelor de turnare în forme permanente

Turnarea în cochile şi cea la joasă presiune sunt procedee rentabile pentru cantități de peste 40 000 de bucăți piese. Formele durabile sunt mai scumpe decât modelele pentru formele temporare, dar ceva mai ieftine decât matrițele de turnare sub presiune. Pe de altă parte, manopera pentru obținerea unei piese turnate în forme durabile este mai redusă în comparație cu cea de realizare a aceleiaşi piese

turnate în forme temporare, dar mai mare față de cea de realizare a aceleiaşi piese turnate în matriță. Figura 3.110 prezintă costurile relative de realizare a pieselor prin diferite procedee de turnare, corespunzătoare diferitelor volume de producție. Se observă că turnarea gravitațională este mai rentabilă decât turnarea la presiuni înalte pentru producții de peste 20 000 de bucăți. La cantități de peste 2 500 de bucăți, turnarea în cochile devine competitivă cu turnarea în forme temporare. Creşteri importante de productivitate se pot obține prin utilizarea matrițelor cu cavități generatoare multiple.

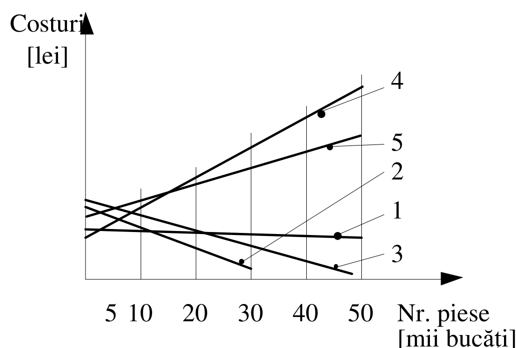


Fig. 3.110. Costurile relative ale procedeelor de turnare în:
1 - cochile; 2 - forme permanente la joasă presiune; 3 - forme permanente sub presiune; 4 - forme temporare din amestec obişnuit; 5 - forme temporare din ipsos.

Durabilitatea matrițelor este mare, de la circa 50 000 de bucăți/cavitate generatoare (la turnarea pieselor mici din fontă cenuşie în cavități protejate prin acoperire cu straturi ceramice), la circa 100 000 de bucăți la turnarea aliajelor de magneziu.

Turnarea centrifugală se poate aplica atât în producția de unicate - când sunt utilizate forme temporare, cât şi în producția de serie mică şi medie, când se utilizează forme din grafit. Utilizarea formelor din grafit sunt rentabile de la 50 de turnări în sus. Turnarea centrifugală în forme metalice este rentabilă de la 400 de utilizări în sus.

Turnarea în matrițe (sub presiune înaltă) este rentabilă în producția de serie mare şi de masă (5 000…10 000 de turnări). Matrițele de turnat sub presiune sunt scule relativ scumpe; cu cât toleranțele dimensionale şi de formă impuse piesei turnate sunt mai strânse (precizie ridicată), cu atât mai scumpă va fi matrița. Un aspect important pentru determinarea rentabilității sculei este natura materialului de turnat, astfel:

- o matriță pentru piese din aliaje de zinc permite circa 10^6 utilizări;
- o matriță pentru piese din aliaje de aluminiu sau magneziu permite circa 125 000 de turnări;
- o matriță pentru piese din alamă rezistă între 5 000…50 000 de turnări, în funcție de mărimea piesei realizate şi de materialul sculei.

Cadența de turnare sub presiune este ridicată. Astfel, pentru o piesă de 0,5 kg din aliaj de aluminiu, având o suprafață totală de 320 cm^2, poate fi realizată cu o

productivitate de 100 bucăți/oră; în timp ce o piesă mare, complexă, de 9 kg, poate fi realizată cu o productivitate de numai 10…15 bucăți/oră.

Debavurarea în matriță crește costul sculei. De aceea ea este rentabilă numai pentru producții de peste 10 000…20 000 turnări, sub aceste limite recomandându-se utilizarea debavurării ulterioare.

O analiză comparativă a principalilor indicatori tehnico-economici la turnarea în forme, prin diferite procedee tehnologice de turnare se prezintă în tabelul 3.26.

3.8.7.2. Proiectarea formei pieselor turnate în forme permanente

Recomandările pentru proiectarea formei pieselor turnate în forme permanente sunt funcție de procedeul tehnologic de turnare ales. Astfel, la turnarea în cochile, datorită vitezei mari de răcire a piesei turnate în forma metalică, pentru a permite umplerea completă a cavității formei, la turnarea gravitațională, trebuie ca, pe de o parte, grosimea pereților piesei turnate să fie suficient de mare, iar, pe de altă parte, configurația piesei să fie cât mai simplă.

Pentru piesele turnate în cochile se recomandă următoarele rezolvări constructive:

- *găurile* trebuie să aibă axelele dispuse perpendicular pe planul de separație, astfel încât să nu necesite miezuri suplimentare. Diametrul minim al miezurilor este de 6…9 mm, variind în funcție de lungimea găurii, care nu trebuie să depășească 6 diametre, pentru a se putea menține rigiditatea miezului;
- *înclinările* sunt necesare pentru că permit extragerea rapidă a piesei din cochilă. La interior înclinările trebuie să fie mai mari decât la exterior, pentru a preîntâmpina efectul contracției piesei pe miezuri (1°...3°, la exterior; 2°...5°, la interior);
- *razele şi racordările* trebuie să fie ample pentru a se uşura curgerea aliajului topit. Racordările trebuie să aibă o rază minimă cel puțin egală cu grosimea peretelui piesei, în timp ce razele exterioare trebuie să fie de minimum 3 ori grosimea peretelui;
- *nervurile* sunt asemănătoare celor ale pieselor turnate în forme temporare;
- *armarea (inserțiile)* se poate face cu uşurință, dar trebuie prevăzută o asigurare prin formă contra demontării. În jurul inserțiilor trebuie asigurată o grosime uniformă şi completă de perete;
- *inscripționările* se prevăd în mod asemănător celor ale pieselor turnate în forme temporare;
- *planul de separație* se preferă suprafețele plane, drepte, în plan orizontal sau vertical;
- *variația grosimii peretelui* trebuie menținută cât mai uniformă. Grosimea peretelui şi zonele de trecere trebuie să fie cât se poate de line;
- *adaosurile de prelucrare* sunt cu circa 60…70% mai mici decât la piesele turnate în forme temporare, fiind de circa 0,8…2 mm.

Tabelul 3.26. *Compararea indicatorilor tehnico-economici la turnarea în forme*

Indicatorii tehnico-economici relativi		Valori preferate ↑ - mari ↓ - mici	Turnarea în forme					
			Temporare		permanente			
			din amestec (referința -100%)	din ipsos	în cochile		centrifugală	sub presiune
					manual	mecanizat		
Caracteristicile piesei realizate prin turnare	Porozitatea peretelui	↓	100	20-50	60	60	10-30	60-75
	Rugozitatea suprafeței	↓	100	60-75	60	60	75-100	10-20
	Toleranțele dimensionale	↓	100	40-80	70-90	50-80	90-150	5-15
	Abaterile de masă	↓	100	50-75	30-60	30-40	90-130	5-30
	Caracteristicile mecanice ale aliajului turnat	↑	100	100	90-130	90-135	80-120	80-120
	Fidelitatea reproducerii detaliilor formei	↑	100	100-130	100-140	110-150	80-125	140-180
Caracteristicile procedeului	Frecvența de turnare	↑	100	75-90	130-180	150-200	125	350
	Productivitatea	↑	100	60-80	130-150	140-180	90-110	360-400
	Costul piesei	↓	100	90-120	50-75	35-55	35-65	40-50
	Costul SDV-urilor	↓	100	100-120	110-130	120-150	90-130	180-300
	Costul utilajelor	↓	100	100-110	70-140	80-160	110-140	230-260

Câteva caracteristici de bază ale pieselor turnate în cochilă prin cădere liberă se prezintă în tabelul 3.27.

Tabelul 3.27. *Caracteristici ale pieselor turnate în cochile prin cădere liberă*

Dimensiunea minimă [mm]	Gabaritul piesei		
	mic	mijlociu	mare
Grosimea peretelui -piese fără miezuri;	3	8	15-20
-piese cu miezuri temporare	2,5	5	10-15
Razele de racordare interioare (*a, b* -grosimea pereților alăturați)	$R=\frac{a+b}{5}$	$R=\frac{a+b}{5}$	$R=\frac{a+b}{3}$
Înclinarea pereților interiori (în grade)	5°	3°	2°

La *turnarea centrifugală* trebuie ținut cont în primul rând de caracteristicile acestui procedeu. O primă caracteristică a turnării centrifugale în forme permanente este absența rețelei de turnare şi a maselotelor. De aceea, recomandările constructive sunt mai reduse decât la celelalte procedee de turnare şi ele constau din următoarele:

- *razele de racordare* deşi nu atât de pronunțate ca la procedeeele anterioare, la intersecțiile de pereți se prevăd întotdeauna raze de racordare pentru a se evita concentrarea tensiunilor;

- *grosimea pereților* procedeul permite realizarea de grosimi de pereți cuprinse între 6 mm şi 125 mm. În mod obişnuit se preferă grosimi de circa 9 mm;

- *găurile obținute prin turnare centrifugală* cu miezuri nu pot fi mai mici de ∅25 mm. Pentru diametre mai mici se recurge la găurirea ulterioară;

- *înclinările* sunt necesare pentru a permite extragerea piesei din forma de turnare.

La *turnarea sub presiune* se recomandă următoarele rezolvări constructive:

- *grosimea pereților* trebuie menținută cât mai uniformă. Totdeauna trebuie evitate grosimile de peste 6 mm. Un deosebit punct de interes îl prezintă efectul dat de răcirea rapidă a aliajului asupra rezistenței stratului superficial (0,38...0,63 mm) prin formarea unei structuri fine, lipsite de porozități. La reducerea grosimii peretelui, datorită turnării sub presiune, efectul este amplificat, rezultatele cele mai favorabile obținându-se pentru grosimi de perete cuprinse între 0,75 mm şi 1,3 mm. Grosimea minimă a pereților recomandată la turnarea în forme metalice se prezintă în tabelul 3.28;

- *bosajele* se fac astfel încât să nu se formeze noduri termice, care pot avea ca efect deteriorarea aspectului suprafeței exterioare a piesei prin apariția unor concavități zonale (fig.3.111);

- *nervurile şi racordările* pot fi utilizate pentru întărirea secțiunilor periculoase şi reducerea grosimii pereților (fig.3.112). Sunt preferate nervurile cu axa perpendiculară pe planul de separație, care nu necesită miezuri mobile (retractabile).

Tabelul 3.28. *Caracteristici ale pieselor turnate la presiune înaltă*

Aliajul	Masa [kg]	Gabaritul [mm]	Grosimea minimă a peretelui, raportată la suprafață [mm/cm^2]			
			<25	25-100	100-500	>500
Aluminiu	15-25	800×600×300	0,6-1,2	1,2-1,8	1,8-2,5	2,5-3
Cupru	5	400×250× 15	1,5-2	2-2,5	2-3,3	3-4
Magneziu	5-7	800×600×300	0,6-1,2	1,2-1,8	1,8-2,5	2,5-3
Plumb	1	300×200×200	0,5-1	1-1,5	1,5-2	2-2,5
Staniu	0,5-1					
Zinc	16-20	800×600×300				

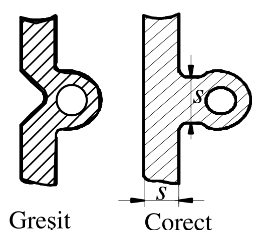


Fig. 3.111. Construcția bosajelor la turnarea sub presiune.

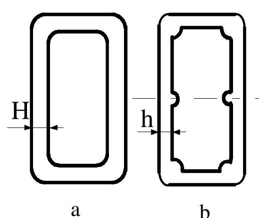


Fig. 3.112. Micşorarea grosimii pereților prin nervurare:
a - fără nervuri; b - nervuri cu axa perpendiculară pe planul de separație.

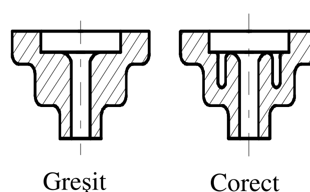


Fig. 3.113. Nervurarea cu miezuri.

Grosimea nervurilor nu trebuie să depăşească grosimea peretelui, lungimea poate fi de maximum 4 ori grosimea, iar înclinarea de 2°. În zonele piesei unde există goluri interioare în apropierea unei secțiuni mari se preferă utilizarea unor miezuri suplimentare, care să uniformizeze grosimea pereților. Nervurile nu trebuie să genereze noduri termice suplimentare. Ori de câte ori este posibil, se va face nervurarea pe ambele părți ale peretelui, astfel încât să se mențină grosimea constantă (fig.3.113). În cazul intersecției a două nervuri, aceasta e de preferat să se facă după direcții perpendiculare, iar intersecțiile multiple trebuie evitate. Nervuri suplimentare pot fi adăugate matriței, dacă se constată că este necesar după testarea seriei zero, prin prelucrare ulterioară cu microaşchii a acesteia;

- *razele de racordare* - trebuie evitată schimbarea bruscă a direcției de curgere a aliajului lichid din matriță, pentru a preveni apariția porozităților. Muchiile ascuțite şi colțurile sunt concentratori de eforturi, de unde se vor propaga fisurile în piesă. Pe de altă parte, ele sunt defavorabile pentru prelucrarea şi construcția matriței, pentru că sunt puncte de concentrare a căldurii, de unde începe coroziunea sculei. De aceea, razele şi racordările trebuie să fie cât mai ample, de minimum 1,5 ori grosimea peretelui alăturat;

- *găurile* – axele trebuie să fie perpendiculare pe planul de separație;

dimensiuni minime: ∅3 mm - pentru aliaje de Al şi Mg; ∅1,5 mm - pentru aliajele de Zn. Se va evita folosirea miezurilor mobile, care necesită spațiu, complică construcția sculei şi amplifică uzarea. Se recomandă utilizarea şuruburilor autofiletante introduse direct în găurile rezultate prin turnare, fără a se folosi prelucrări ulterioare prin aşchiere;

- *filetele* **–** se pot realiza numai filete de precizie medie. Cel mai practic mod de obținere a filetelor exterioare prin turnare în matriță este de a plasa axa filetului în planul de separație, astfel încât să se simplifice operația de extragere a piesei (fig.3.114). Realizarea filetelor interioare, prin turnare în matriță, presupune prevederea unei modalități de deşurubare a miezului: prin rotirea piesei sau a miezului. Acest procedeu se poate aplica numai materialelor care au o contracție redusă la solidificare, cum ar fi aliajele de zinc. Câteva valori minime pentru găuri şi filete ce pot fi obținute prin turnarea în forme metalice sunt prezentate în tabelul 3.29;

Tabelul 3.29. *Dimensiuni minime ale găurilor şi filetelor la turnarea în forme metalice*

Aliajul	Diametrul minim [mm]	Adâncimea maximă [mm] × d_{min}		Dimensiunile minime ale filetelor		
		Găuri înfundate	Găuri străpunse	Pasul [mm]	Diametrul	
					exterior	interior
Aluminiu	2,5	3	5	1	12	15
Cupru	3	3	4	1,5	12	-
Magneziu	2,5	6	10	1	12	15
Plumb	1	4	10	1	5	10
Staniu	1					
Zinc	1	6	12	0,75	8	10
Oțel	8	3	4	-	-	-
Fontă	6	3	4	-	-	-

- *inserțiile* se utilizează curent pentru realizarea filetelor exterioare (prezoane), sau interioare (bucşe filetate). Prezoanele şi bucşele trebuie să fie asigurate constructiv împotriva demontării (fig.3.115). Utilizarea turnării cu inserții scade productivitatea turnării, prin mărirea duratei de pregătire a matriței;

- *adaosurile de prelucrare* nu trebuie să depăşească 0,5 mm. Această valoare a adaosurilor de prelucrare depinde de grosimea stratului superficial cu structură fină şi densă a piesei turnate. Peste această valoare există riscul străpungerii stratului superficial şi deschiderii unor structuri poroase, care pot afecta funcționarea piesei. Din aceeaşi cauză, găurile care urmează a fi filetate ulterior trebuie realizate din turnare şi nu prin găurire;

- *curățarea piesei turnate* se poate face în matriță sau manual. Poate scumpi considerabil piesa turnată şi din această cauză, tăierea bavurilor şi a rețelei de turnare cu ajutorul dispozitivelor matriței se consideră suficientă la o distanță de 0,35 mm de peretele piesei. Pentru a se facilita debavurarea se vor evita

intersecţiile oblice ale pereţilor exteriori cu planul de separaţie, prin adăugarea unor umeri de racordare, perpendiculari pe planul de separaţie (fig.3.116);

- *inscripţionările* se pot face inscripţionări pe piesă în relief sau gravate. Ele se amplasează întotdeauna în planele paralele cu planul de separaţie (pe fundul semimatriţei). Peretele matriţei trebuie prelucrat în aceste cazuri după negativul profilului, deoarece prelucrarea caracterelor în relief este foarte dificilă. Mult mai economică este realizarea gravării. În multe cazuri se preferă inscripţionarea cu ajutorul unor pastile care se montează în matriţă (acest tip de inscripţionare prezintă şi avantajul că permite modificarea rapidă a datelor înscrise, de la o turnare la alta).

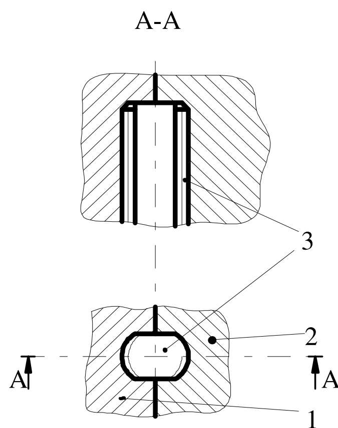


Fig. 3.114. Proiectarea filetelor exterioare:
1, 2 - semimatriţe; 3 - piesa.

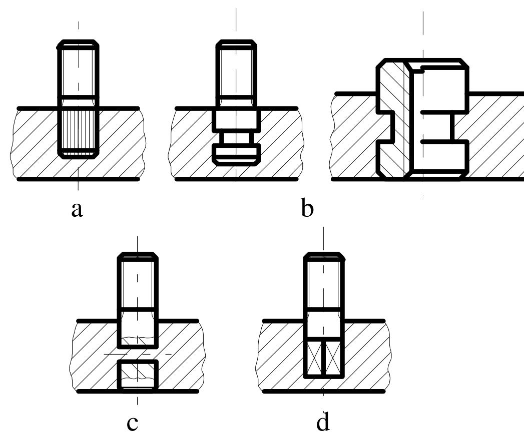


Fig. 3.115. Proiectarea inserţiilor şi asigurarea contra desfacerii:
a - prin striere; b - prin canelare; c - prin găurire; d - prin faţetare.

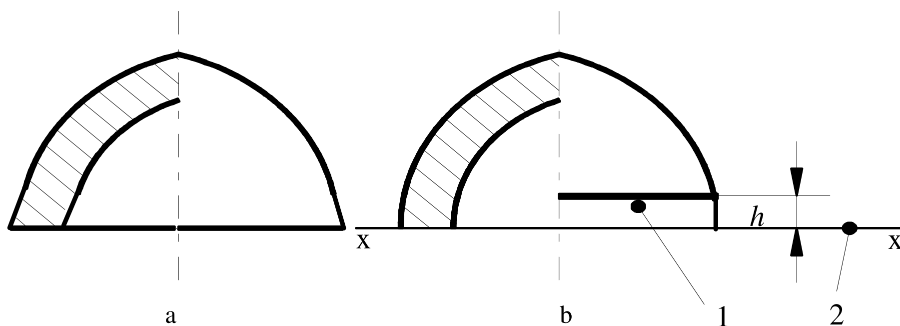


Fig. 3.116. Proiectarea zonelor debavurate:
a - de evitat; b - de dorit; 1 - umeri de racordare; 2 - planul de separaţie.

Pe piesă o astfel de inscripționare va apare într-o depresiune, sub nivelul peretelui exterior. Dimensiunile recomandate pentru caractere sunt: grosimea minimă: 0,25 mm; înălțimea minimă: 0,25...0,50 mm; înclinarea minimă pentru demulare: 10°;

- *aspectul suprafețelor* **-** suprafețele plane de dimensiuni mari sunt inestetice deoarece pun în evidență cu ușurință defectele superficiale şi ele necesită curățare suplimentară prin sablare, polizare sau periere. Defectele superficiale pot fi mascate prin proiectarea suprafețelor vizibile cu diverse detalii constructive cum ar fi nervurile, bosajele, racordările, texturarea suprafeței etc.

3.8.7.3. Tehnologii tip la turnarea în forme permanente

Procesul tehnologic la turnarea în forme permanente este prezentat în figura 3.117. Temperaturile şi vitezele de turnare a aliajelor în formele permanente sunt asemănătoare celor utilizate la turnarea în forme temporare. Deosebirile constau în necesitatea preîncălzirii formelor permanente (pentru a limita apariția tensiunilor termice), precum şi în duratele mult mai mici de menținere a piesei în formă.

Restricții importante se impun în cazul materialelor turnate sub presiune în matrițe, un exemplu fiind prezentat în tabelul 3.30.

Tabelul 3.30. *Turnarea sub presiune a aliajelor neferoase*

Aliajul	Temperatura de turnare [°C]	Temperatura formei [°C]	Maşini de turnare utilizate	Presiunea [MPa]
Aluminiu-Siliciu	600-700	150-250	Cu cameră rece, compresie cu piston	10-20
Aluminiu-Cupru	620-700	150-250		
Cupru	850-950	300-350		30-100
Magneziu	600-700	200-250		10-20
Plumb	200-360	120-140	Cu cameră caldă, compresie cu piston sau compresor	2-7
Staniu	280-330	130-150		
Zinc	420-440	150-200		

3.8.7.4. Construcția formelor permanente

Pe lângă configurația interioară a cavității generatoare a piesei din forma de turnare, proiectantul formelor permanente (cochile, cristalizoare, matrițe) trebuie să aibă în vedere rezolvarea următoarelor probleme:

- dimensionarea optimă a grosimii pereților, astfel încât să se asigure, atât solidificarea în bune condiții a piesei, cât şi durabilitatea maximă a formei;
- evacuarea eficientă a gazelor din cavitatea formei;
- închiderea şi etanşarea semiformelor;
- deschiderea semiformelor şi extragerea uşoară a piesei;
- asamblarea şi extragerea miezurilor permanente;
- montarea semiformelor pe maşina de turnare.



Fig. 3.117. Procesul tehnologic la turnarea în forme permanente.

La construcția cochilelor trebuie avută în vedere în primul rând grosimea pereților cochilelor, care se determină din calculul termic, pornind de la ipoteza că întreaga cantitate de căldură cedată de aliajul lichid este preluată de forma metalică. O determinare rapidă a grosimii peretelui formei se poate face cu ajutorul unor relații empirice, plecând de la grosimea minimă a peretelui piesei turnate,

$$s_f = k \cdot s_p \quad [\text{mm}] \ , \tag{3.45}$$

unde: s_f este grosimea minimă a peretelui formei de turnare; s_p - grosimea medie a peretelui piesei turnate; k - coeficient de corecție (k=1 pentru piese cu pereți groşi, respectiv k<1 pentru pereți subțiri).

Tabelul 3.31. *Grosimea minimă a pereților cochilelor*

Condițiile de turnare	Grosimea peretelui piesei turnate p_p[mm]					
	Turnarea fontei			Turnarea oțelului		
	<15	15-30	>30	<20	20-50	>50
Turnarea cu întreruperi	15	20-30	$0{,}8 \times p_p$	20	25-40	$0{,}7\text{-}0{,}9 \times p_p$
Turnarea frecventă	20	30-40	p_p	25	40-50	p_p
Turnarea frecventă, cu răcirea formei	15	20-30	$0{,}8 \times p_p$	20	20-35	$0{,}8 \times p_p$

Poziția piesei în formă trebuie să permită umplerea liniştită a cavității formei şi să prevină formarea de noduri termice. De regulă, piesele se aşează vertical, iar alimentarea cavității generatoare a piesei se face în sifon. Dimensiunile minime recomandate pentru configurația interioară a formei de turnare sunt:

- distanța dintre cavitățile generatoare ale pieselor: 10...20 mm;
- distanța dintre piciorul pâlniei şi cavitatea generatoare a piesei: 25...30 mm;
- distanța dintre cavitatea generatoare a piesei şi marginea exterioară a formei 25...30 mm;
- distanța dintre canalele rețelei de turnare şi marginea exterioară a formei 75...100 mm;
- distanța dintre cavitatea generatoare a piesei şi poziția pâlniei de turnare 40...65 mm;

Evacuarea gazelor din cavitatea formei metalice se face prin răsuflători, a căror amplasare este similară celor folosite la formele temporare. Răsuflătorile se execută de formă tronconică cu baza în planul de separație, având secțiune ovală, pentru a uşura extragerea din formă. Dimensionarea răsuflătorilor se face punând condiția ca viteza de evacuare a gazelor să fie superioară vitezei de umplere a cavității formei de turnare. Pe lângă răsuflători, în planul de separație se prevăd canale de aerisire, de adâncime 0,25...1,0 mm şi lățime de 3 mm, care comunică cu exteriorul prin jocul dintre semicochilele asamblate de 0,15...0,25 mm. Dacă nu se pot amplasa toate proeminențele piesei în planul de separație, se prevăd canale de

de aerisire separate, cu diametre de ∅4...6 mm, la formele mici, respectiv de ∅9...10 mm, la formele mari, unde, pentru a preveni pătrunderea aliajului topit în canalele de aerisire, acestea se astupă cu dopuri găurite (diametrul găurilor este de ∅0,4 mm).

Construcția matrițelor trebuie să asigure închiderea sigură şi etanşă. De aceea, în acest scop se calculează secțiunea maximă admisibilă a piesei turnate, cu relația

$$S_{ap} = \frac{0{,}85 \cdot F_{\max}}{p} \ [\text{cm}^2] \ , \qquad (3.46)$$

unde: S_{ap} este secțiunea maximă admisibilă a piesei turnate în matriță în [mm]; F_{max} - forța maximă de închidere a matriței în [N]; p - presiunea de turnare în [N/cm^2].

Masa maximă a piesei (pieselor) care pot fi turnate în matriță pe o anumită maşină depinde de performanțele maşinii şi de natura aliajului de turnat, determinându-se cu relația

$$m_p = 0{,}75 \cdot V_u \cdot \rho \ \ [\text{kg}] \ , \qquad (3.47)$$

unde: m_p este masa maximă a piesei turnate în [kg]; V_u - volumul util al camerei de compresie a maşinii în [cm^3]; ρ - densitatea aliajului de turnat în [kg/cm^3].

3.9. PROCEDEE SPECIALE DE TURNARE

În această categorie au fost incluse procedeele de turnare cu aplicabilitate restrânsă, ale căror utilizări pe scara industrială au apărut în ultimele decenii. Este de remarcat faptul că, în urmă cu 15 ani şi procedeele de turnare în forme permanente mai erau încă incluse în această categorie, dar, pe măsura generalizării utilizării lor, acestea au încetat de a mai fi considerate ,,speciale”.

Procedeele speciale de turnare prezentate în continuare pot fi clasificate astfel:

- procedee cu formare specială;
- procedee cu turnare-umplere specială a formei;
- procedee cu solidificare specială a piesei;
- procedee cu dezbatere specială a formelor.

Pot exista şi procedee de turnare, care să conțină numai unul sau mai multe elemente speciale prezentate mai sus.

3.9.1. Turnarea prin expulzarea progresivă a jetului de aliaj topit

Este un procedeu la care solidificarea piesei se face în condiții dinamice prin curgerea continuă a fazei lichide în raport cu crusta solidificată, datorită compresiei exercitate de una din semiforme, care este mobilă. Acest procedeu de turnare este singurul la care secțiunea jetului de aliaj lichid este cu mult mai mare decât secțiunea medie a peretelui piesei.

Pregătirea formei de turnare constă în: curățirea suprafețelor active ale matriței, acoperirea acestora cu vopsea refractară, montarea miezului din amestec de formare 2, preîncălzirea matriței cu ajutorul rezistențelor electrice 8 şi 9 (fig.3.118). Turnarea aliajului lichid 5 se face în alimentatorul central, matrița fiind în stare deschisă, iar umplerea cavității formei are loc prin comprimarea aliajului lichid la închiderea matriței. Închiderea completă a matriței se face la sfâşitul solidificării piesei 7. La deschiderea matriței se face extragerea piesei împreună cu miezul temporar, care ulterior este dezbătut din piesă.

Ca particularități ale procedeului se pot menționa:

- inexistența pierderilor hidraulice la curgerea aliajului topit, datorită secțiunii mai mari a jetului de aliaj decât a secțiunii medii a peretelui piesei;

- solidificarea în condiții dinamice se face în două etape: în prima etapă are loc formarea crustelor de solidificare la interfața cu semimatrițele, iar în etapa a doua are loc îmbinarea crustelor prin comprimarea aliajului lichid şi evacuarea surplusului din cavitatea formei.

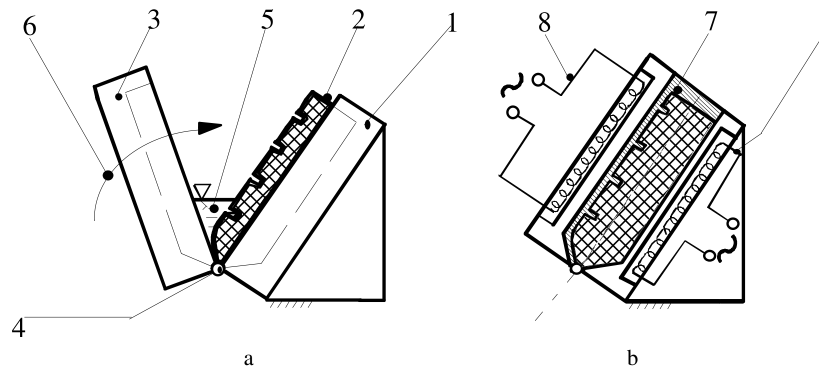


Fig. 3.118. Forma de turnare prin expulzare progresivă:
a - matrița deschisă; b - matrița închisă; 1 - semimatrița fixă; 2 - miez din amestec de formare; 3 - semimatrița mobilă; 4 - articulația semimatrițelor; 5 - aliajul lichid; 6 - sensul de închidere a matriței; 7 - piesa; 8, 9 - rezistențe de încălzire a semimatrițelor.

La turnarea clasică, cu umplerea cavității formei prin curgere gravitațională, viteza de umplere v_u a formei este dependentă de înălțimea coloanei de aliaj lichid H, fiind dată de relația

$$v_u = \mu \cdot \sqrt{2g \cdot H} \quad \text{[m/s]} \qquad (3.48)$$

unde μ este coeficientul pierderilor hidraulice ($\mu < 1$).

Coeficientul pierderilor hidraulice μ ia în considerare efectul forțelor de frecare, care apar la curgerea aliajului topit, atât între straturile fluide şi pereții cavității formei şi ai rețelei de turnare, cât şi ca urmare a modificării secțiunii şi a direcției canalelor rețelei de turnare.

După cum rezultă din relația (3.48) se poate majora înălțimea piciorului pâlniei de turnare (creşterea înălțimii metalostatice *H*) în scopul creşterii vitezei de curgere a aliajului.

Din observațiile experimentale (fig. 3.119), a rezultat că nu se poate creşte oricât de mult viteza de curgere a aliajului, prin mărirea coloanei metalostatice, şi că de la o anumită valoare a înălțimii H_{cr} = 0,45 m se constată o stabilizare a valorii vitezei v_{ucr}= 1,25 m/s. În cazul rețelelor uzuale de turnare (la turnarea gravitațională) pierderile hidraulice pot atinge valori importante, de 25…30%, fapt ce impune (în special la realizarea pieselor mari cu pereți subțiri) utilizarea unor forțe suplimentare pentru comprimarea aliajului în cavitatea formei. Aceste dezavantaje sunt înlăturate de procedeul de turnare prin expulzare progresivă.

În cazul procedeului de turnare prin expulzarea progresivă, comprimarea aliajului se face gradual, în lipsa unei rețele de turnare. Umplerea cavității formei se face la joasă presiune, p_c= 0,05…0,06 MPa, caz în care se pot folosi miezuri din amestec de formare. Regimul de lucru este asemănător celui de la turnarea la joasă presiune, cu deosebirea că în cazul expulzării progresive nu se utilizează rețea de turnare, iar secțiunea jetului de aliaj este mai mare decât cea a peretelui piesei.

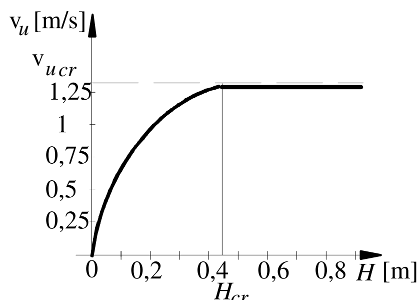


Fig. 3.119. Dependența dintre viteza de curgere v_u a aliajului în formă şi înălțimea metalostatică *H,* la turnarea gravitațională.

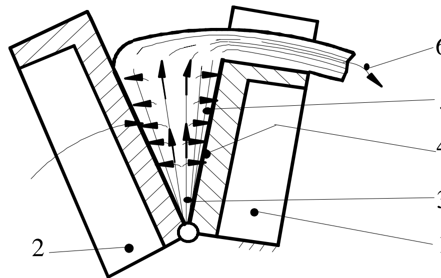


Fig. 3.120. Procesul de alimentare cu aliaj lichid a crustelor de solidificare:
1 - semimatriță fixă; 2 - semimatriță mobilă; 3 - aliajul lichid; 4 - crusta solidificată; 5 - zona bifazică; 6 - evacuarea surplusului de aliaj după umplerea formei.

Solidificarea în condiții dinamice a aliajelor se face cu modificarea câmpu-

lui termic din aliajul lichid şi cu modificarea structurii de solidificare (prin ruperea mecanică a vârfurilor dendritelor de către jetul de aliaj comprimat), rezultând o superfinisare a structurii, cu obținerea de cristale fine echiaxiale.

Din figura 3.120 se observă schema procesului de curgere continuă a aliajului lichid în fața frontului de solidificare, modul de eliminare parțială a zonei bifazice, prin spălarea acesteia de jetul de aliaj, având drept consecință formarea unei structuri fine în crusta de solidificare.

Procedeul se utilizează la realizarea pieselor de mari dimensiuni, cu grosimi mici de pereți, precum: carcase, panouri, panouri rigidizate cu nervuri, profile deschise cu lățimi mari etc.

3.9.2. Turnarea prin matrițare lichidă

Turnarea prin matrițare lichidă cuprinde procedeele de turnare la care umplerea formei se face în mod obişnuit, prin curgerea gravitațională liberă, dar pe durata solidificării se aplică o suprapresiune mecanică. Forma piesei este dată de acțiunea combinată a părții fixe cu a celei mobile a matriței (poanson, piston sau semimatriță).

Domeniul de presiuni la care se desfăşoară procesul este superior celui utilizat la turnarea la joasă presiune şi la turnarea prin expulzare progresivă, fiind situat între 8...150 MPa.

După modul de acțiune a semimatriței mobile se disting următoarele variante ale procedeului (fig.3.121).

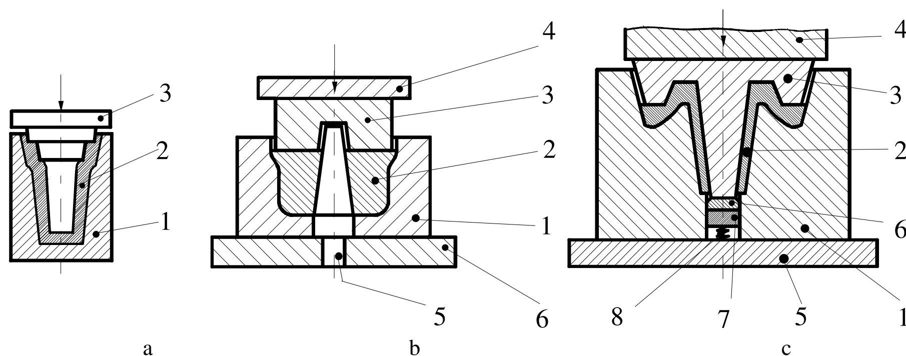


Fig. 3.121. Variante ale turnării prin matrițare lichidă:
a - presiune realizată cu piston profilat care asigură atât compresia, cât şi forma suprafeței interioare a piesei: 1 - semimatriță fixă; 2 - aliaj lichid; 3 - piston; b - presiune realizată cu poanson mobil care asigură compresia şi forma suprafeței frontale a piesei, în timp ce forma interioară este realizată cu miezul matriței 5, fixat în placa de bază 6; c - presiune realizată cu semimatrița mobilă 3, fixată în sabotul 4 care asigură compresia şi forma interioară a piesei; surplusul de material lichid este evacuat prin orificiul 6 al semimatriței fixe 1, după ce s-a atins valoarea forței de comprimare a contrapistonului 7, acționat de resortul 8.

Matrițele utilizate lucrează în condiții grele, la temperaturi şi presiuni mari. Pentru a se asigura o durabilitate cât mai ridicată, matrițele se construiesc robust, fără plane de separație, şi cu cât mai puține elemente mobile.

3.9.3. Turnarea cu modele uşor volatile

În scopul simplificării operațiilor de formare şi a creşterii productivității procesului de turnare, în cazul turnării în forme temporare, s-a recurs la utilizarea unor modele temporare, care să nu necesite demulare, fapt ce simplifică construcția formei, permițând realizarea de piese fără plane de separație. Deosebirea esențială a procedeului de turnare cu modele uşor volatile, față de procedeul cu modele uşor fuzibile, constă în faptul că, în cazul modelelor volatile, acestea sunt gazeificate chiar prin contactul cu aliajul topit, la umplerea formei de turnare. Formele de turnare pot fi din amestec de formare obişnuit, cu liant special sau criogenic, având pereții groşi. Se mai pot utiliza alice metalice liate în câmp electromagnetic. În toate cazurile trebuie luate măsuri suplimentare, deosebite în ceea ce priveşte evacuarea volumului suplimentar de gaze rezultate din distrugerea modelului. Principiul formării cu modele uşor volatile se prezintă în figura 3.122.

Modelele volatile se confecționează din polistiren expandat prin debitare termică şi lipire, în producția de serie mică şi de unicate, şi prin injectare în matrițe, în producția de serie mare şi masă.

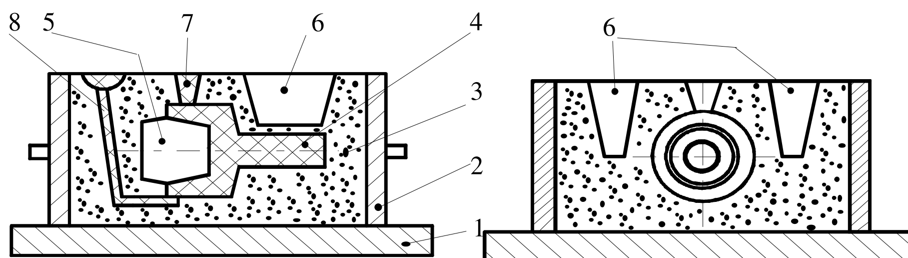


Fig. 3.122. Principiul formării cu modele uşor volatile:
1 - placă model; 2 - ramă de formare; 3 - amestec de formare; 4 - modelul asamblat; 5 - miez din amestec de formare asamblat în model; 6 - canale de aerisire; 7 - maselotă; 8 - rețea de turnare.

Datorită fragilității deosebite a materialului de model, precum şi din cerința de a se asigura permeabilitatea mai ridicată a formei, amestecul de formare trebuie puțin îndesat.

În cazul formării cu alice din fontă, acestea sunt de formă sferică sau ovoidală, cu diametre între ∅ 0,3...0,6 mm, pentru a se creşte permeabilitatea. Tot pentru a se permite evacuarea mai bună a gazelor, alimentarea cavității generatoare a piesei se face prin turnare în sifon.

Pot fi prevăzute miezuri din amestec de formare special, care se asamblează în modelul de turnare.

3.9.4. Turnarea în forme vidate

Procedeul este recomandat pentru obținerea pieselor de dimensiuni mijlocii, în producția de seria mare şi masă, permițând automatizarea complexă a procesului tehnologic, incluzând operațiile de formare, turnare, dezbatere şi reutilizare a amestecului.

Acest procedeu, alături de cel de turnare în forme criogenice, sunt singurele procedee de formare la care amestecul de formare, pe bază de nisip cuarțos, poate fi reutilizat în totalitate.

Lierea se face cu mediu gazos, datorită forțelor exterioare de presiune care apar prin crearea unei depresiuni în interiorul amestecului de formare, între granulele de nisip din pereții formei de turnare.

Formarea se face în rame, cu modele permanente speciale, asamblate pe plăci model. Umplerea ramelor şi îndesarea amestecului se poate face manual sau mecanizat prin: suflare, împuşcare, vibrare, aruncare etc.

Semimodelul 1 (fig.3.123), realizat în construcție de tip carcasă, prevăzut cu orificii pentru circulația aerului, se asamblează pe cutia de vidare 2, astfel încât orificiile 4 ale cutiei să se afle în corespondență cu cele ale semimodelului. Racordul 3 se pune în legătură cu instalația de vidare. Folia de polietilenă 5, fixată pe rama mobilă 6, este încălzită cu rezistența electrică 7 în vederea mulării plastice pe model (fig.3.123. a).

Când folia a devenit suficient de plastică, este mulată pe semimodel cu ajutorul ramei mobile, luând forma acestuia 8 (fig.3.123. b).

Peste semimodelul asamblat cu cutia de vidare se aşează rama superioară 9, prevăzută cu conducta de evacuare a gazelor 10, care comunică cu instalația de vidare prin racordul 11. Folia mulată 8 (pe semimodel) se etanşează pe marginile ramei de formare 12. Rama se umple cu amestecul de formare 13, constituit în acest caz din nisip cuarțos uscat, de granulație uniformă, fără impurități. Umplerea se face mecanizat prin aruncare şi vibrare. La partea superioară rama se acoperă cu folia 14, care se mulează prin încălzire pe pereții exteriori ai ramei. Semiforma astfel închisă este racordată la instalația de vidare evacuându-se aerul, fapt ce conduce la lierea nisipului în spațiul delimitat de pereții ramei şi cele două folii mulate etanş (fig.3.123. c).

După realizarea semiformei superioare se face demularea modelului prin desprinderea foliei cu aer comprimat insuflat prin cutia de vidare (fig.3.123. d).

Analog se realizează şi cealaltă semiformă. În cazul pieselor cu goluri interioare se pot utiliza miezuri din amestec de formare, caz în care modelul se prevede cu mărci pentru aşezarea miezurilor.

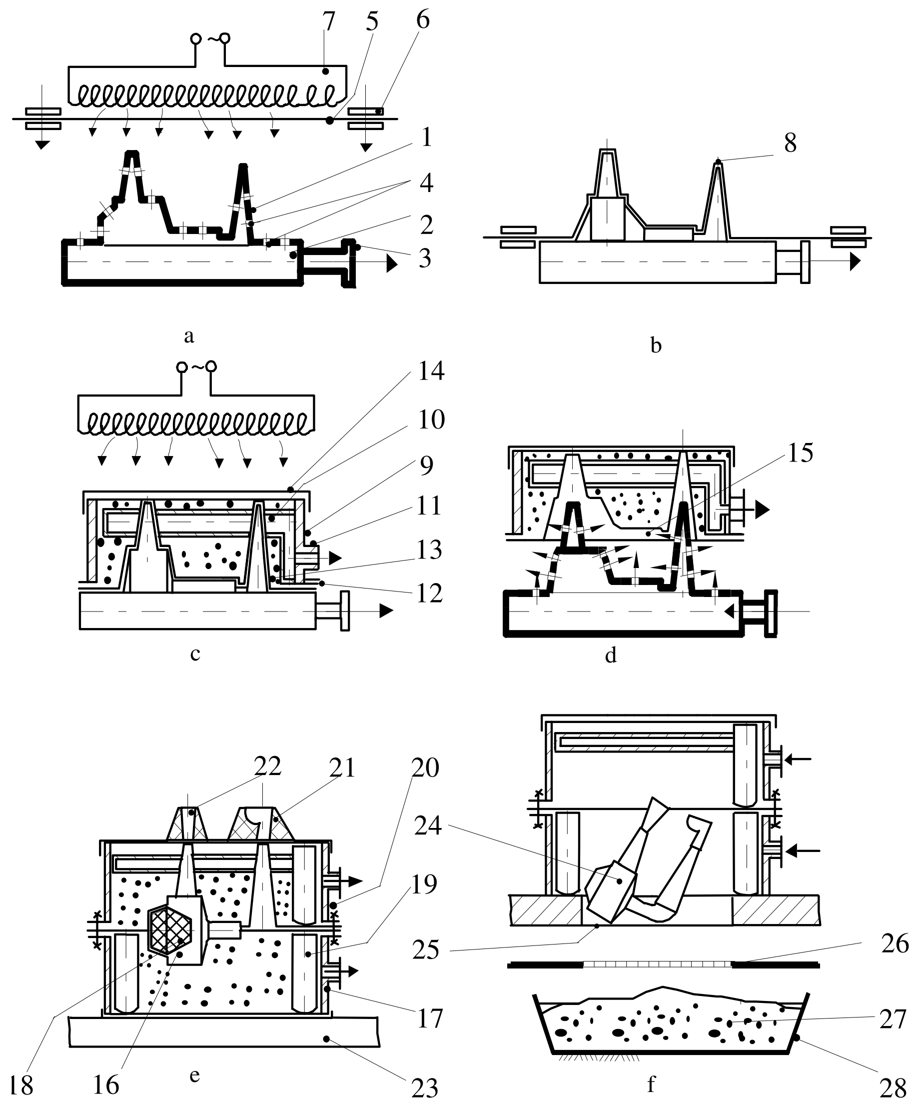


Fig. 3.123. Etapele de lucru la turnarea în forme vidate:
a - încălzirea foliei de polietilenă în vederea mulării; b - mularea foliei pe semimodel; c - formarea în rama superioară; d - demularea; e - asamblarea semiformelor în vederea turnării;
f - dezbaterea formelor; 1 - semimodel; 2 - cutia de vidare; 3 - racord; 4 - orificii; 5 - folie de polietilenă; 6 - ramă mobilă; 7 - rezistenţă electrică; 8 - folie mulată; 9 - ramă superioară;
10 - conducta de evacuare a gazelor; 11 - racord; 12 - ramă de formare; 13 - amestec de formare;
14 - folie de închidere; 15, 16 - cavitatea formei; 17 - ramă inferioară; 18 - miez; 19 - pereţi interiori;
20 - semiforme asamblate etanş; 21 - suportul pâlniei de turnare; 22 - suportul maselotei; 23 - placă model; 24 - piesa brut turnată; 25 - trapă; 26 - grătar; 27 - amestec folosit şi refolosibil; 28 - buncăr.

Se asamblează cele două semiforme pe placa 23. Rama inferioară 17 este prevăzută, pe perimetrul pereților interiori 19, cu canale pentru evacuarea aerului (în desen lipseşte conducta pentru evacuarea gazelor generate la turnare, deoarece acestea se ridică spre semiforma superioară). Cele două semiforme 20 se fixează etanş pe marginile ramelor, prevăzute cu flanşe. Cavitatea formei 16, rezultă prin asamblarea semiformelor şi prin montarea miezului 18. La partea superioară se montează suporții din şamotă, 22 şi 21, pentru fixarea pâlniei de turnare şi a maselotelor, în corespondență cu canalele din forma de turnare (fig.3.123. e).

Turnarea se face prin suportul pâlniei 21. Metalul sau aliajul lichid pătrunde în cavitatea formei prin arderea locală a foliei de polietilenă. Pe durata turnării şi a solidificării piesei forma de turnare rămâne legată la instalația de vidare. După arderea foliei de polietilenă la contactul cu aliajul topit etanşarea se face în continuare satisfăcător prin masa aliajului. Gazele degajate în cavitatea de turnare sunt preluate prin conducta de evacuare 10 şi canalul perimetral 19 în instalația de vidare, limitându-se astfel pericolul apariției defectelor de turnare.

După solidificarea piesei, dezbaterea formei se face foarte comod prin comprimarea amestecului din formă. Acesta se desprinde şi curge prin trapa 25 a plăcii 23, după ce în prealabil a fost înlăturată folia de închidere inferioară, sub acțiunea greutății proprii şi a greutății piesei 24 brut turnate. Piesa rămâne pe grătarul 26, în timp ce amestecul 27 este colectat în buncărul 28 pentru a fi refolosit (fig.3.123. f).

Procedeul este deosebit de eficient în cazul producției de serie mare şi de masă deoarece asigură:

- reducerea consumurilor de materii prime şi materiale de formare;
- simplificarea instalațiilor de preparare şi distribuire a materialelor de formare;
- reducerea timpilor necesari formării şi dezbaterii formei;
- reducerea defectelor de tipul suflurilor;
- reducerea apariției incluziunilor prin micşorarea numărului de componente ale amestecului de formare.
- condiții de lucru mult mai bune (absența prafului la locul de muncă).

Limitele procedeului se referă la gabaritul mic şi mediu al pieselor realizabile, precum şi la complexitatea ceva mai redusă (miezuri puține).

3.9.5. Turnarea în forme ceramice cu pereți subțiri

Procedeul se aplică la realizarea pieselor de precizie ridicată, dar de dimensiuni mai mari decât cele admise de procedeele de turnare în forme coji obişnuite.

Cel mai utilizat procedeu de realizare a formelor ceramice de tip coajă este *procedeul Shaw* (fig.3.124). Acesta utilizează amestec de formare special 1, aflat în

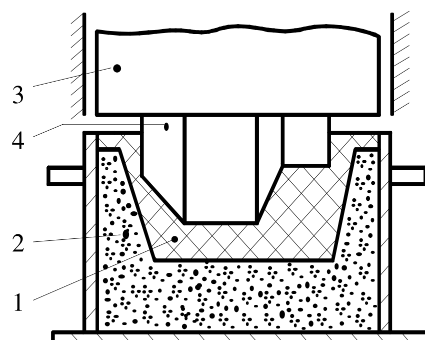
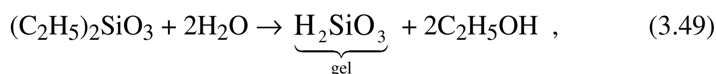


Fig. 3.124. Realizarea formelor ceramice cu pereți subțiri Shaw:
1 - amestec de formare lichid; 2 - formă preliminară; 3 - sabot; 4 - semimodel.

stare lichidă, care se toarnă într-o formă preliminară 2, de configurație mai simplă decât a piesei, confecționată din metal (formă permanentă) sau din amestec de formare special (formă temporară). Amestecul lichid este comprimat cu ajutorul unui sabot 3, pe care este montat semimodelul 4. Presarea se menține până la întărirea amestecului, suficient ca să permită demularea (câteva minute). Forma ceramică este apoi lăsată să se solidifice complet, după care este calcinată în cuptor, operație prin care se realizează atât întărirea completă a formei, cât şi permeabilizarea pereților. Ulterior, semiformele sunt asamblate în vederea turnării. Formele ceramice de tip coji se dezbat pentru extragerea piesei (forme temporare).

Ca liant este utilizat silicatul de etil $(C_2H_5)_2SiO_3$, care liază în stare hidrolizată după reacția



$$(C_2H_5)_2SiO_3 + 2H_2O \rightarrow \underbrace{H_2SiO_3}_{gel} + 2C_2H_5OH \ , \qquad (3.49)$$

unde H_2SiO_3 este silicagel (liant sub formă de gel); C_2H_5OH este alcool (se evaporă prin încălzirea formei).

3.9.6. Turnarea în forme hibride

Prin forme hibride se înțeleg formele de turnare care au în componență părți executate din materiale de formare diverse, precum:

- forme metalice (cochile) cu elemente ale formei din ipsos;
- forme metalice cu elemente din ceramică;
- forme coji cu elemente din ipsos;
- forme din amestec obişnuit cu părți din ipsos;
- forme din amestec întărit cu CO_2 cu elemente ceramice;
- forme criogenice cu elemente metalice etc.

Aceste soluții constructive sunt preferate datorită următoarelor avantaje:

- reduc costul şi durata de formare;
- permit realizarea de piese cu rezistență şi calitate a suprafeței diferențiată zonal;

- duc la creşterea durabilității cochilelor şi matrițelor;

- permit realizarea unei solidificări dirijate a piesei;

- permit combinarea avantajelor oferite de diversele procedee de turnare.

În figura 3.125 este prezentată ca exemplu o formă hibridă asamblată pentru turnarea unui rotor din aliaj de Al.

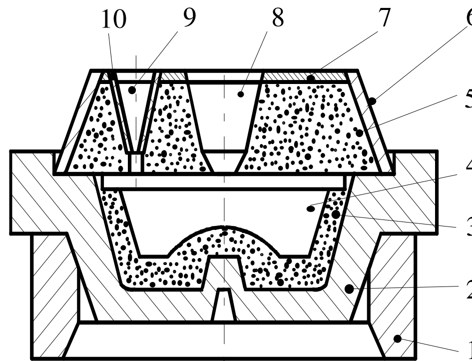


Fig. 3.125. Structura unei forme hibride:
1 - suport; 2 - cochilă; 3 - miezuri din ipsos;
4 - cavitatea formei; 5 - semiformă din amestec obişnuit;
6 - ramă de formare; 7 - capac; 8 - rețea de turnare;
9 - maselotă; 10 - căptuşeală refractară.

În cochila 2, montată pe suportul 1, au fost asamblate miezurile din ipsos 3. Semiforma superioară a fost realizată din amestec cu autoîntărire 5, în rama de formare 6. În forma din amestec au fost prevăzute maselotele 9, căptuşite cu amestec refractar 10 şi rețeaua de turnare 8. Procedeul prezintă avantajele rezultate din combinația făcută prin alegerea diverselor moduri de formare pentru realizarea formei hibride.

3.9.7. Turnarea în forme criogenice

Procedeul de turnare în *forme înghețate* (care utilizează ca liant apa solidificată prin răcire) are câteva avantaje deosebite şi anume:

- elimină noxele în toate fazele procesului tehnologic, prin înlocuirea lianților, vopselelor refractare şi a substanțelor auxiliare;

- calitatea ridicată a suprafeței pieselor turnate, prin realizarea unei interfețe de vapori între aliajul lichid şi peretele formei;

- vitezele ridicate de răcire a pieselor, care conduc la obținerea unor microstructuri fine, putându-se elimina tratamentele ulterioare;

- recuperarea integrală a amestecului de formare;

- posibilități mari de mecanizare şi automatizare a întregului proces tehnologic;

- dezbaterea foarte uşoară a formelor.

Procesul tehnologic de turnare în forme criogenice este structurat în următorele etape (fig.3.126):

- *umplerea formei* semimodelul 1 se asamblează cu placa model 2, iar peste placă se aşează rama de formare 3 şi se umple cu amestec de formare 3′, alcătuit din nisip cuarțos şi apă. Umplerea se poate face mecanizat prin presare, vibrare, scuturare sau suflare (fig.3.126. a);

- *lierea amestecului* se face prin înghețarea apei conținute în amestecul de formare, prin intermediul unui agent frigorific (fig.3.126. b), utilizând una dintre metodele: aspersiune (stropirea sau pulverizarea unui lichid criogen peste forma de turnare); convecție (plasarea formei în atmosferă de vapori criogeni); imersare (scufundarea formei în lichid criogen). Ca agenți frigorifici se pot utiliza: azot lichid, zăpadă carbonică, freon 12, gheață eutectică (soluții congelate de săruri în apă, $CaCl_2$ -55°C, NaCl -21,13°C). Răcirea formei se poate face înainte sau după operația de demulare, iar modelul poate fi folosit în acest ultim caz pentru conducerea agentului de refrigerare (în acest mod se obțin forme coji criogenice). Dacă răcirea se face după demulare se obțin forme cu pereți groşi;

Fig. 3.126. Realizarea formelor criogenice cu pereți groşi:
a - umplerea ramei de formare; b – prin înghețarea semiformei; c - înghețarea formei asamblate; 1 - semimodel; 2 - placa model; 3 - rama de formare; 3′ - amestec de formare; 4 - instalația de pulverizare a agentului frigorific; 5 - semiformă prin înghețată; 6 - semiforma după demulare; 7 - semiforma superioară; 8 - semiforma inferioară; 9 - masă de asamblare; 10 - amestec de umplere cu grad redus de înghețare; 11 - amestec de model cu grad ridicat de înghețare; 12 - miez din amestec obişnuit; 13 - cavitatea formei de turnare; 14 - lance pentru pulverizarea agentului frigorific; 15 - sursa de agent frigorific; 16 - eliminarea vaporilor de agent frigorific.

- *demularea* se poate face în două situații:

- după înghețarea formei, când este necesară utilizarea unor medii de izolație la interfața model-formă, care să reducă forțele de adeziune. Ca medii de izolație se folosesc antigelul, glicerina, uleiul siliconic, cu care se acoperă suprafața modelului;

- înainte de înghețarea formei, când este necesară utilizarea unui preliant adăugat în amestecul de formare, cum ar fi argila, care să confere o rezistență mecanică satisfăcătoare formei de turnare, astfel încât să permită demularea. Pentru atingerea rezistenței mecanice necesare turnării, se face în continuare lierea amestecului prin înghețare;

- *asamblarea semiformelor* se face într-o incintă izotermă, astfel încât să se limiteze încălzirea formelor, lucru deosebit de important în cazul formelor criogenice cu pereți subțiri. Se pot utiliza şi forme cu pereții groşi şi cu grad de înghețare diferențiat pe grosimea peretelui formei. După ce se realizează cele două semiforme prin prin înghețare, cu consum redus de agent frigorific, obținându-se o rezistență mecanică a formei suficientă pentru demulare, transport şi asamblare, se asamblează apoi forma de turnare, după care se face răcirea suplimentară a cavității formei, prin pulverizarea agentului frigorific în interiorul cavității formei asamblate. Se obține astfel o formă mai rezistentă, în special în zona secțiunilor subțiri, cu un consum redus de agent frigorific (fig.3.126. c);

- *turnarea* se face în formele înghețate la temperatura de (−60°C)... (−30°C). Temperatura formei, precum şi viteza de turnare se aleg în funcție de volumul piesei şi de temperatura de turnare a aliajului, astfel încât să se mențină o rezistență mecanică suficientă a pereților formei, până la solidificarea piesei;

- *solidificarea* are loc rapid, la o viteză de răcire comparabilă celei de la turnarea în cochile. Datorită acestui fapt se obțin structuri metalografice fine, care conduc la proprietăți mecanice superioare pentru piesele turnate. Creşterea vitezei de răcire influențează solidificarea aliajelor prin: micşorarea domeniului soluțiilor solide monofazice; creşterea cantității de eutectic şi apariția lui la conținuturi mici de element de aliere; scăderea temperaturilor eutectice; finisarea structurii, modificarea eutecticului şi creşterea compactității peretelui piesei turnate, ca urmare a reducerii zonei bifazice şi a micşorării ponderii retasurii disperse din volumul total al retasurii;

- *dezbaterea formelor* se face după încălzirea acestora peste 0°C. Prin dezghețarea liantului se produce autodistrugerea formelor sub acțiunea greutății piesei solidificate şi a amestecului de formare.

3.9.8. Turnarea în câmp ultrasonor

Turnarea asistată de energia ultrasonoră este utilizată în scopul îmbunătățirii turnabilității materialelor. Este un caz particular al turnării şi solidificării în condiții dinamice, iar uneori energia ultrasonoră asistă şi procesul de elaborare a aliajului. Efectele exercitate de ultrasunete asupra aliajelor în stare lichidă şi a celor turnate în forme pot fi rezumate în următoarele:

- accelerarea proceselor de difuzie;
- creşterea solubilității reciproce a componentelor aliajelor, putându-se obține noi aliaje;

- intensificarea procesele de modificare a structurii metalelor şi aliajelor;
- reducerea viscozităţii şi creşterea fluidităţii;
- reducerea segregaţiei gravimetrice;
- eliminarea impurităţilor;
- degazarea puternică a topiturii;
- omogenizarea structurii prin fărâmiţarea structurii dendritice, eliminarea anizotropiei şi licuaţiei;
- micşorarea dilataţiei iniţiale şi creşterea contracţiei de solidificare;
- obţinerea unor suprafeţe de foarte bună calitate.

Metoda poate fi aplicată tuturor procedeelor de turnare descrise anterior, atât la turnarea în forme temporare, cu pereţi groşi sau subţiri, cât şi la cea în forme permanente. La ora actuală metoda se aplică pentru piesele mici şi mijlocii în producţia de serie, rezultate foarte bune obţinându-se pentru piesele de precizie ridicată (mecanică fină şi producţia de scule aşchietoare), cu grosimi uniforme de pereţi.

Schema de principiu a procedeului se prezintă în figura 3.127.

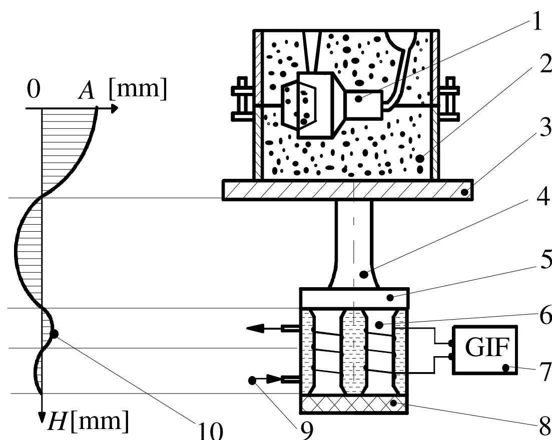


Fig. 3.127. Turnarea în câmp ultrasonor:
1 - cavitatea formei; 2 - forma de turnare; 3 - masă vibratoare; 4 - concentrator ultrasonor; 5 - flanşă nodală; 6 - traductor ultrasonor; 7 - generator de curenţi de înaltă frecvenţă; 8 - izolaţie acustică; 9 - circuit de răcire; 10 - diagrama de variaţie a amplitudinii vitezei particulei în lungul sistemului ultraacustic, *A* - amplitudinea vitezei particulei; *H* - lungimea sistemului ultraacustic.

Forma de turnare 2 se aşează pe masa vibratoare 3, iar aliajul lichid se toarnă în cavitatea formei 1, în timp ce masa vibratoare este pusă în funcţiune prin cuplajul acustic cu concentratorul de energie ultrasonoră 4, al sistemului ultraacustic. Sursa de ultrasunete este transductorul magnetostrictiv 6, care este alimentat în curenţi de înaltă frecvenţă de către generatorul 7. Sistemul ultraacustic este răcit prin circuitul 9 şi este izolat acustic 8 faţă de mediul extern. Din diagrama

10, de variație a amplitudinii vitezei particulei în raport cu parametrii geometrici ai sistemului, se observă că aceştia pot fi aleşi astfel încât să se obțină efectul maxim al oscilației particulelor de aliaj lichid într-o anumită zonă a piesei din forma de turnare. În zonele de amplitudine nulă se amplasează flanşele de asamblare a elementelor sistemului şi elementele de sprijin.

Se obțin piese cu o foarte bună calitate a suprafeței, structură omogenă, precizie dimensională ridicată şi lipsite de tensiuni interne.

Limitele de aplicare a procedeului sunt date de dificultatea construirii sistemului ultraacustic, dependent de gabaritul şi grosimea piesei şi a formei de turnare.

3.9.9. Turnarea prin retopire în baie de zgură

Acest procedeu scurtează traseul tehnologic, în sensul că aliajul este topit (elaborat) în imediata apropiere a cavității formei de turnare, fapt ce are drept consecințe:

- eliminarea oxidărilor cauzate de transvazarea aliajului lichid din creuzetul cuptorului în oala de turnare şi de aici în forma de turnare;
- eliminarea surselor de impurități şi incluziuni de pe traseul tehnologic;
- posibilitatea modificării proprietăților materialului prin modificarea compoziției chimice de la o zonă la alta a piesei.

Retopirea se poate face prin următoarele metode: cu arc electric în vid, cu fascicol de electroni, cu plasmă, în baie de zgură.

În practică, cea mai utilizată metodă este retopirea electrică în baie sub strat de zgură, a cărei schemă de principiu este prezentată în figura 3.128.

Dispozitivul de retopire este alcătuit dintr-un cristalizor 5 (forma permanentă de turnare), răcit cu apă 6. Cristalizorul este izolat electric față de piesa turnată printr-un strat subțire de zgură, care se depune în interfață. Umplerea formei se face prin consumarea electrodului 1. Procesul se amorsează prin umplerea inițială a cristalizorului cu un volum de aliaj şi de flux, care prin topire cu arc electric creează baia de aliaj topit 4 şi cea de zgură 3. Electrodul 1, pe măsura topirii fluxului ajunge imersat în baia de zgură, moment în care arcul electric se stinge, iar sursa de căldură este asigurată în continuare prin efectul Joule. Zgura utilizată în proces trebuie să asigure, pe de o parte, mediul de rafinare pentru picăturile de aliaj topit, iar pe de altă parte, o rezistență electrică suficient de mare pentru încălzire. Pentru oțeluri se utilizează zgură de tip CaF_2 (25...90%) + CaO (20...60%) + Al_2O_3 (max 30%).

O rezistivitate mare a zgurei conduce la un consum mic de energie electrică, în condițiile unei capacități mari de topire, dar, pe de altă parte, o viteză prea mare de topire poate influența negativ structura piesei solidificate, printr-o solidificare dendritică radială.

Piesele din oţeluri realizate prin acest procedeu au o sudabilitate superioară celor turnate convenţional; din această cauză, în construcţiile sudate importante, precum piese din industria chimică, navală, nucleară, aerospaţială, extractivă, de utilaje tehnologice şi energetice, se preferă utilizarea reperelor astfel obţinute.

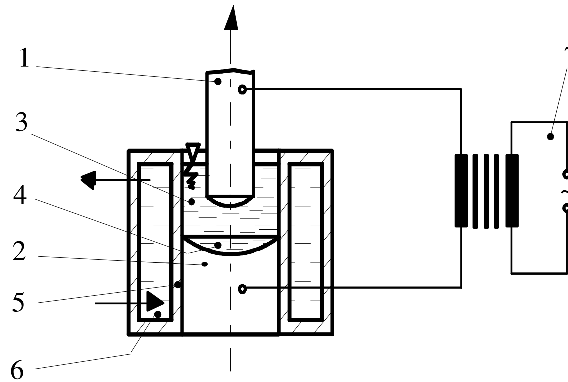


Fig. 3.128. Schema retopirii sub strat de zgură:
1 - electrod consumabil; 2 - piesa turnată; 3 - baia de zgură; 4 - aliajul topit; 5 - cristalizor;
6 - apă de răcire; 7 - sursa de curent.

Procedeul se aplică cu succes în producţia de serie mică şi de unicate, în cazul pieselor de mari dimensiuni, cu grosimi mari de perete. Se poate face fie turnarea integrală a reperului, turnarea parţială sau remedieri prin turnare locală cu modificarea sau nu a formei iniţiale.

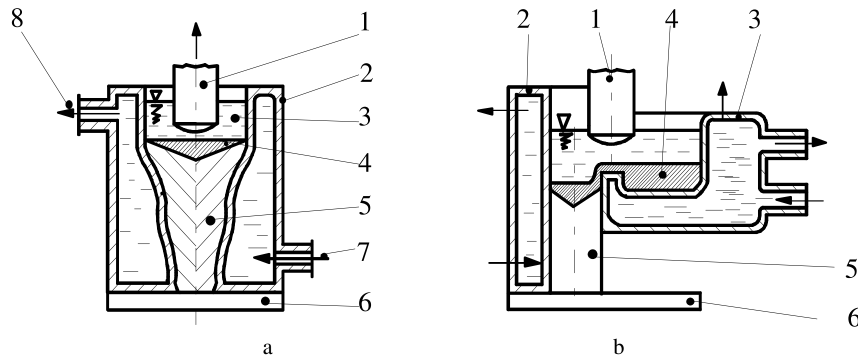


Fig. 3.129. Variante ale retopirii sub strat de zgură:
a - cu umplere directă a cavităţii formei; 1 - electrod consumabil; 2 - cristalizor;
3 - baie de zgură; 4 - aliajul topit; 5 - piesa solidificată; 6 - placă de închidere;
7 - admisia apei de răcire; 8 - evacuarea apei de răcire;
b - cu umplere indirectă; 1 - electrod consumabil; 2 - cristalizor fix; 3 - cristalizor mobil;
4 - spaţiul de generare a piesei; 5 - spaţiul de topire; 6 - placă de închidere.

În raport cu complexitatea şi cu gabaritul piesei turnate, se pot distinge mai multe variante ale procedeului:

- retopire pentru turnarea lingourilor de înaltă puritate în instalații cu unul sau mai mulți electrozi;
- retopire pentru turnarea pieselor profilate, cu electrod coaxial cu piesa, cu umplere directă a cavității formei (fig.3.129. a);
- retopire pentru turnarea integrală sau parțială a piesei, prin curgerea aliajului din spațiul de topire în cavitatea formei şi umplerea indirectă a formei (fig.3.129. b).

Câteva aplicații ale turnării pieselor prin retopire sub strat de zgură sunt prezentate pe scurt în continuare.

Piesele de formă cilindrică de mare gabarit (∅1 300×2 000 mm, grosimea peretelui de până la 200 mm) utilizate în industria nucleară, chimică şi energetică se pot realiza cu instalația din figura 3.130. Piesa 1 are avans circular s_c, iar cristalizorul 3 are mişcare de avans longitudinal s_l. Frontul de cristalizare evoluează după o traiectorie elicoidală.

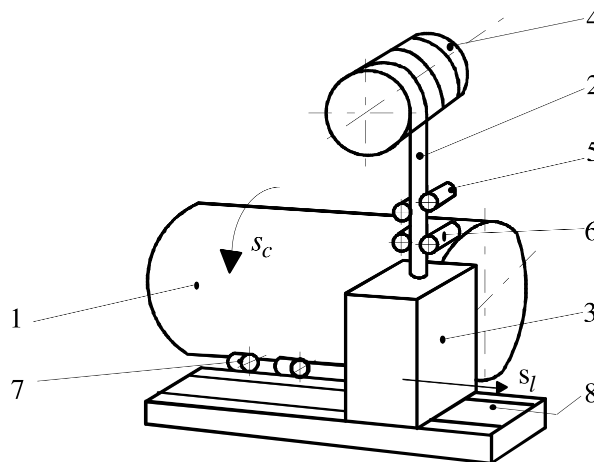


Fig. 3.130. Realizarea pieselor cilindrice prin retopire sub zgură:
1 - piesa; 2 - electrod consumabil; 3 - cristalizor; 4 - rolă port-electrod; 5 - role de îndreptare;
6 - role de antrenare; 7 - role pentru antrenarea piesei; 8 - ghidaje pentru deplasarea cristalizorului.

Arborii cotiți pentru motoarele Diesel de mare putere, care echipează nave, locomotive şi grupuri de foraj, au mase de 100…300 t, lungimi de 5…15 m şi diametre de 800…1500 mm. La prelucrarea prin forjare liberă a acestora, din lingouri, se obțin randamente scăzute de utilizare a materialului, de circa 40…70%. Prin turnarea arborilor cotiți prin retopire sub strat de zgură se obțin randamente de utilizare a materialului ridicate, de 98…99 %, în condiții de precizie dimensională şi de calitate a structurii deosebite.

În ambele variante prezentate în figura 3.131 este necesară turnarea parțială prealabilă, prin același procedeu, fie a fusurilor (fig.3.131. a), fie a manetoanelor (fig.3.131. b), care ulterior sunt asamblate prin retopire sub strat de zgură. Procesul este condus astfel încât să se obțină în final piese monobloc.

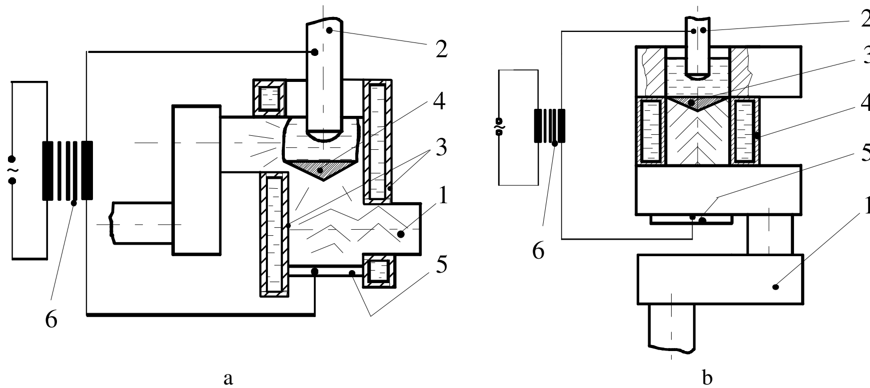


Fig. 3.131. Realizarea arborilor cotiți prin retopire sub zgură:
a - cu cristalizor de forma manetoanelor; 1 - piesa solidificată; 2 - electrod consumabil; 3 - cristalizoare; 4 - aliaj topit; 5 - placă de închidere; 6 - sursa de curent; b - cu cristalizor de forma fusurilor; 1 - piesa; 2 - electrod consumabil; 3 - aliaj topit; 4 - cristalizor; 5 - placă de închidere; 6 - sursa de curent.

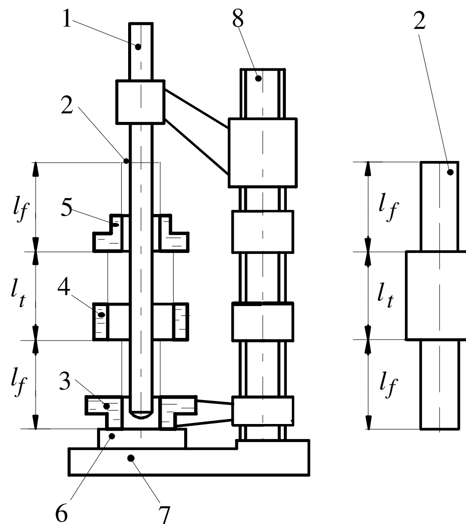


Fig. 3.132. Fabricarea cilindrilor de laminor prin retopire sub zgură:
1 - electrod consumabil; 2 - piesa; 3, 5 - cristalizoare pentru fusuri; 4 - cristalizor pentru tăblie; 6 - placă; 7 - placă de bază; l_t - lungimea tăbliei; l_f - lungimea fusurilor.

Cilindrii de laminor se pot realiza dintr-o singură bucată, utilizând metoda prezentată în figura 3.132 cu cristalizoare mobile. Piesa 2 este alcătuită din trei volume distincte: două fusuri şi o tăblie. Turnarea piesei se face de jos în sus, astfel că la fusul inferior se amorsează procesul în cristalizorul 3, închis la partea de jos de placa 6, care are şi rolul de electrod masă. Pe măsură ce electrodul consumabil 1 se topeşte, cristalizorul 3 urcă, oprindu-se în momentul parcurgerii lungimii fusului l_f. În acel moment el devine placă de bază pentru cristalizorul 4, care realizează turnarea tăbliei pe lungimea l_t. Procesul se încheie odată cu turnarea fusului superior. La sfârşitul operației de turnare se demontează suportul port-electrod şi se extrage mai întâi cristalizorul fusului 3, după care se extrage piesa.

Similar se pot realiza şi *cilindri de laminor bimetalici,* acoperiți cu o crustă dură (fig.3.133). În acest caz, electrodul consumabil are o formă inelară 1, fiind amplasat în jurul piesei 2. Prin topire în cristalizorul 4, pe piesă se depune stratul dur 3. Grosimea crustei depuse poate fi între 50…75 mm, iar lungimea electrodului inelar poate fi de 4 500…5 000 mm.

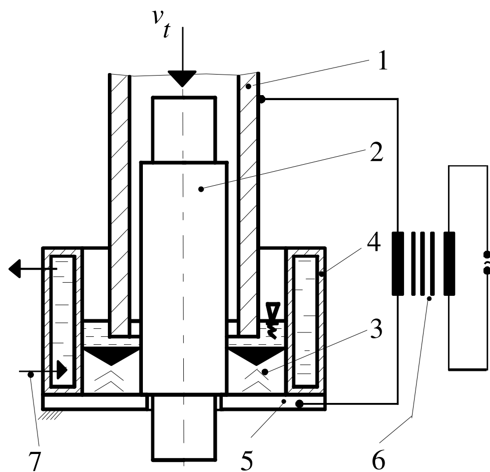


Fig. 3.133. Fabricarea cilindrilor de laminor bimetalici prin retopire sub zgură:
1 - electrod inelar; 2 - piesa; 3 - strat dur;
4 - cristalizor; 5 - placă de capăt; 6 - sursa de curent;
7 - lichid de răcire; v_t -viteza de topire.

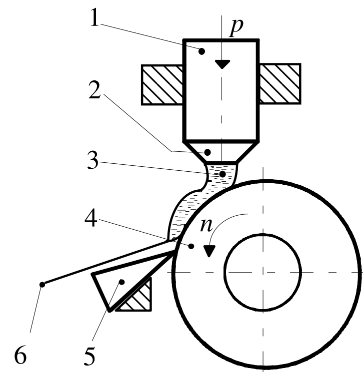


Fig. 3.134. Obținerea metalelor amorfe prin răcirea topiturii pe un singur cilindru:
1 - creuzet; 2 - ajutaj; 3 - jetul de aliaj topit; 4 - cilindru; 5 - prag; 6 - piesă.

3.9.10. Obținerea prin turnare a materialelor cu proprietăți speciale

Ca urmare a topirii şi turnării în condiții speciale se pot realiza structuri dirijate, prin controlarea condițiilor de solidificare (cristalizare). O aplicație specta-

culoasă o constituie obținerea metalelor cu structură amorfă.

Metalul sau aliajul este topit în creuzetul 1 (fig.3.134), de unde curge prin ajutajul 2, prin cădere liberă sau la o suprapresiune de 1,4…2 bar, pe cilindrul 4 (de diametru ∅100…300 mm), aflat în mişcare de rotație (uzual, turațiile sunt cuprinse între 3 000…6 000 rot/min). Jetul de metal topit 3 prin curgerea pe suprafața cilindrului 4 se solidifică, semifabricatul obținut 6 fiind desprins de pe cilindru cu ajutorul pragului 5.

Prin acest procedeu se pot realiza, în funcție de lățimea jetului şi a unghiului de contact cu suprafața cilindrului, fire, fibre sau benzi, de lățimi cuprinse între 0...20 mm, grosimi de până la 0,04 mm şi lungimi foarte mari (procedeul se poate încadra, din acest punct de vedere, între cele de *turnare continuă*).

Pentru a se obține compoziții bine determinate ale aliajelor astfel realizate, este necesar ca, topirea şi turnarea sa se facă în condiții de atmosferă şi de temperatură controlate.

Pentru obținerea unei structuri determinate este nevoie ca, atât viteza de curgere a topiturii, cât şi cea de rotație a cilindrului să poată fi controlate.

3.10. PARTICULARITĂȚILE TURNĂRII PIESELOR DIN METALE ŞI ALIAJE INDUSTRIALE

Plecând de la turnabilitatea materialelor metalice, condiționată după cum s-a arătat în subcapitolul 3.4 de o serie de proprietăți fizico-chimice ale aliajului, prezentul subcapitol trece în revista principalele categorii de materiale metalice care pot fi prelucrate prin turnare.

3.10.1. Turnarea în piese a metalelor şi aliajelor

3.10.1.1. Turnarea fontelor cenuşii

Fonta cenuşie are o turnabilitate bună. Fluiditatea aliajului creşte cu conținutul de carbon şi fosfor din compoziție. Contracția liniară este redusă, aproximativ 1 % la fonta cu grafit lamelar, 0,9...1,3 % la cea cu grafit nodular, 0,3...0,6 % la cea cu grafit vermicular, 0,6...0,9 % la cea maleabilă.

Temperatura de turnare este de 1 300...1 480°C (valorile minime corespund pieselor cu pereți groşi, cu gabarit mare, iar cele maxime corespund pieselor cu pereți subțiri). Se pot utiliza toate procedeele de turnare. Alimentarea cavității formei se recomandă a fi făcută prin mai multe alimentatoare plasate în zonele cu pereți subțiri, astfel încât să se asigure umplerea completă a cavității şi răcirea uniformă a piesei. În general se folosesc rețele de turnare convergente, datorită fluidității bune a fontelor eutectice, care permite umplerea rapidă a cavității formei

de turnare, în condițiile separării incluziunilor nemetalice şi a gazelor precum şi tendinței reduse de oxidare a fontei. Fontele cenuşii cu un conținut în carbon echivalent de 4,2...4,25 %, cu grafit lamelar, se pot turna fără maselote datorită apariției fenomenului de autoalimentare, ca urmare a grafitizării, la temperaturi de turnare sub 1 350°C şi la grosimi de perete de minim 25 mm, în forme cu rigiditate mare.

La fontele cu grafit nodular nu se constată acest fenomen. În acest caz se impune maselotarea şi se pot folosi şi rețele divergente. Datorită tendinței mai mari de formare a incluziunilor nemetalice decât la fontele cenuşii cu grafit lamelar, rețeaua de turnare trebuie să asigure o viteză cât mai mică de curgere a topiturii. Fluiditatea deosebită a fontelor cu grafit nodular permite realizarea unor piese cu pereți subțiri (3...4 mm) şi cu o calitate ridicată a suprafeței.

Pentru a putea fi dezbătute din forme, piesele trebuie să se răcească sub 500°C. Piesele cu configurație complexă, susceptibile a se deforma, trebuie să se răcească sub 300°C. După dezbatere, piesele mari trebuie lăsate să se răcească în aer, înainte de a fi curățate.

3.10.1.2. Turnarea fontei cenuşii modificate

Procedeele şi tehnologia de turnare sunt asemănătoare, cu următoarele corecții:

- turnarea trebuie să se facă imediat după modificarea aliajului (10...30 minute);
- contracția liniară este mai mare, de circa 1,4...1,6 %, iar volumul retasurii creşte şi este necesară aplicarea maselotelor la formele de turnare;
- temperatura de turnare este de circa 1 380…1 450°C.

3.10.1.3. Turnarea fontei albe

Turnabilitatea aliajului este slabă, având o fluiditate scăzută. Pentru creşterea fluidității temperatura de turnare este de 1 450…1 550°C. Contracția liniară este mare, de circa 1,8…2,2 %. Pentru prevenirea retasurii se recomandă alimentarea cavității formei prin maselote laterale închise, plasate în zonele voluminoase ale piesei. Aliajul are tendință de fisurare la cald şi la rece. Pentru dirijarea locală a solidificării piesei se pot folosi răcitoare.

3.10.1.4. Turnarea fontei aliate

Temperatura de turnare depinde de compoziție; în general, ea este cu 30…50°C peste curba lichidus. Turnabilitatea fontelor aliate este de regulă inferioară fontei cenuşii, având valori mai scăzute ale fluidității datorită conținutului mai mare în incluziuni oxidice. Din această cauză, secțiunile rețelei de turnare trebuie majorate corespunzător. La fontele cu tendință ridicată de oxidare (aliate cu Al, Cr, Si) se folosesc rețele de turnare divergente.

3.10.1.5. Turnarea oțelului carbon

Turnabilitatea oțelurilor este mai slabă decât cea a fontelor. Fluiditatea crește cu conținutul în carbon, precum şi prin adăugarea de 0,1…0,2 % vanadiu, cupru sau mangan, care reduc tensiunea superficială şi scade în prezența incluziunilor nemetalice (oxizi, carburi, nitruri). Contracția liniară este de circa 2%. Temperatura de turnare a oțelurilor depăşeşte temperatura de topire cu 100°C, pentru piesele cu pereți groşi, respectiv cu 150°C pentru cele cu pereți subțiri.

Oțelurile cu conținut ridicat de carbon au o tendință crescută de a forma microretasuri, datorită creşterii intervalului de solidificare şi a înrăutățirii condițiilor de autoalimentare a golurilor din faza lichidă.

Prevenirea formării retasurilor se poate face prin solidificarea dirijată a piesei, folosind maselote şi răcitoare.

Materialul formei de turnare trebuie să aibă o bună refractaritate, o compresibilitate şi o rezistență mecanică ridicate.

Se pot utiliza majoritatea procedeelor de turnare.

Construcția formelor de turnare a oțelului trebuie să asigure: umplerea rapidă, dar lină, a formei şi alimentarea maselotelor (fiind preferată alimentarea cavității generatoare a piesei prin maselote); contracția liberă a piesei în forma de turnare; curățirea uşoară a piesei după turnare; solidificarea dirijată de la părțile subțiri spre cele groase şi spre maselote; la solidificarea simultană, alimentarea cavității generatoare a piesei trebuie să se facă în ploaie; limitarea eroziunii pereților formei şi miezurilor prin alimentarea cavității formei în lungul pereților.

3.10.1.6. Turnarea oțelurilor aliate

Oțelurile aliate au o turnabilitate mai slabă decât a oțelurilor carbon obişnuite. Elementele de aliere măresc diferența de volum specific a aliajului între starea lichidă şi cea solidă, ducând la creşterea valorii contracției liniare şi, în acelaşi timp, micşorează conductibilitatea termică. Când elementele de aliere reduc şi intervalul de solidificare apar retasuri concentrate, uşor de localizat şi de remediat. La conținuturi mari de Cr şi Ni creşte contracția în stare lichidă (2,2...3,0%) şi apare tendința formării de microretasuri.

Elementele de aliere măresc contracția în intervalul de formare a crăpăturilor la cald şi micşorează rezistența crustei solidificate, ducând la obținerea unei structuri grosolane de cristalizare primară. Îmbunătățirea structurii necesită aplicarea, după turnare, a tratamentelor termice. La oțelurile mediu şi înalt aliate apare şi tendința de segregare, care măreşte riscul apariției fisurării la cald.

3.10.1.7. Turnarea aliajelor de aluminiu

Contracția aliajelor de aluminiu este superioară fontei, de circa 1,2...1,7 %, fluiditatea este ridicată, oxidabilitate este crescută şi există o tendință ridicată de absorbție a gazelor. Pentru evitarea microsuflurilor este necesară degazarea

suplimentară a aliajului şi utilizarea unor forme de turnare care să permită evacuarea foarte bună a gazelor din cavitatea generatoare a piesei. La turnarea gravitațională se prevăd filtre pentru reținerea zgurei şi răsuflători mari, cu rol de maselote. Aliajele de aluminiu se pot turna (există mărci special destinate acestei prelucrări) prin toate procedeele descrise. Se preferă însă turnarea sub presiune, procedeu care permite obținerea unor piese de calitate ridicată.

Principalele tipuri de aliaje de aluminiu turnate sunt:

- siluminuri Al-Si: (ATSi12, ATSi4Mg, ATSi4MgMn) care au o turnabilitate bună şi foarte bună (ATSi5Ca1), cu tendință redusă de fisurare şi compactitate bună. Proprietățile siluminurilor pot fi îmbunătățite prin modificarea aliajului;
- aliajele Al-Mg (ATMg10, ATMg9Si, ATMg10Fe) care au o turnabilitate slabă, cu tendință redusă de fisurare şi compactitate slabă;
- aliajele Al-Cu (ATCu4Ti, ATCu8, ATCu10Mg) care au o turnabilitate medie, cu tendință de fisurare la răcire, compactitate medie;
- aliajele Al-Zn (ATZn10Si7, ATZn5Mg) care au turnabilitate bună, cu tendință redusă de fisurare, şi compactitate medie. Proprietățile aliajelor de aluminiu cu elemente cu solubilitate ridicată, precum: Cu, Mg, Zn pot fi îmbunătățite prin tratamente termice.

3.10.1.8. Turnarea aliajelor de cupru

Contracția aliajelor de cupru este superioară fontei (1,6...1,8 %), fluiditatea este ridicată, oxidabilitatea este mare, poate apare tendința de segregare, turnabilitatea este bună existând mărci special destinate acestei prelucrări. La turnarea în forme temporare se utilizează rețele cu umplere în sifon, cu înălțime mică, cu piciorul pâlniei executat în trepte sau în zigzag. Alimentarea formei se face prin zonele groase ale piesei.

Aliajele cuprului turnate în piese sunt:

- alamele sau Cu-Zn: CuZn40Pb; CuZn32Pb2; CuZn40Mn2Al; CuZn30Al5Te3Mn2;
- bronzurile fără Sn (Cu-Al, Cu-Si, Cu-Be): CuAl9t; CuAl10Fe3T; CuAl10Mn2T; CuSi3; CuSi3Mn1; CuSi3Pb4;
- bronzurile cu Sn (Cu-Sn): CuSn10, CuSn14; CuSn9Zn5, CuSn4Zn4Pb17.

3.10.1.9. Turnarea aliajelor de magneziu

Aliajele de magneziu destinate turnării în piese sunt aliaje complexe, care au la bază sisteme binare de tip Mg-Al, Mg-Mn sau Mg-Zn. Ele au o turnabilitate satisfăcătoare, existând mărci special destinate acestei prelucrări. Aliajele de magneziu au o oxidabilitate foarte ridicată şi prezintă pericol de explozie în atmosferă umedă. Turnarea se face cu precauții deosebite. La utilizarea formelor temporare se adaugă în amestecul de formare 1% acid boric şi pulbere de sulf 3%. Jetul de aliaj turnat gravitațional sau centrifugal se protejează prin pudrare cu

pulbere de sulf. Se preferă turnarea sub presiune. Proprietățile aliajului turnat se pot îmbunătăți prin tratament termic.

3.10.1.10. Turnarea aliajelor de nichel

Principalele aliaje de nichel turnate în piese sunt:
- nichel turnat: Ni 97 % ;
- monel (Ni-Cu);
- aliaje Ni-Fe: permalloy, invar, kovar, platinit, elinvar etc;
- aliaje Ni-Cr: cromel, nicrom, inconel;
- superaliaje de Ni: hastelloy (Ni-Mo-Fe), nimonic (Ni-Co-Cr-Mo-Al-Fe-Ti-C), udimet (Ni-Co-Cr-Mo-Al-Ti-Fe-B).

Aliajele Ni-Cu au o turnabilitate bună, în timp ce aliajele cu refractaritate mare, Ni-Cr, Ni-Cr-Mo, au o turnabilitate redusă.

3.10.1.11. Turnarea aliajelor de plumb

Aliajele de plumb au o turnabilitate foarte bună. Cele mai utilizate aliaje turnate sunt cele antifricțiune pentru cuzineți: YPbSn10, YPbSn6Sb6, YPbSn6Cd, YPbSn5, YPb98.

3.10.1.12. Turnarea aliajelor de staniu

Ca şi aliajele de plumb, cele cu staniu au o turnabilitate foarte bună. Cele mai utilizate aliaje turnate sunt cele antifricțiune pentru cuzineți: YSn89, YSn83, YSn80.

3.10.1.13. Turnarea aliajelor de zinc

Aliajele de zinc au o turnabilitate foarte bună. Cele mai utilizate aliaje turnate sunt cele pentru: zamakuri: (Zn-Al), cu 4...20% Al se toarnă sub presiune; aliaje antifricțiune (Zn-Al-Cu-Mg): ZnAl4T, ZnAl4Cu1T.

3.10.2. Turnarea materialelor compozite metalice

În cazul acestei grupe de materiale, turnarea se referă la modul de realizare a îmbinării dintre cele două componente distincte ale materialului: matricea şi armătura. În general, armătura în stare solidă (fibre sau pulbere) este înglobată în matricea lichidă prin turnare.

3.10.2.1. Turnarea gravitațională

Turnarea gravitațională se pretează a fi aplicată materialelor cu fluiditate bună. Fluiditatea poate fi influențată de forma şi dimensiunile particulelor armăturii, de gradul de aglomerare şi de procesul de segregare. Pentru obținerea

unei structuri optime a compozitului trebuie luate măsuri deosebite împotriva segregării.

3.10.2.2. Turnarea centrifugală

Turnarea centrifugală se pretează pentru obținerea pieselor cu compactitate bună şi a materialelor cu neomogenitate controlată a structurii. Distribuția care se poate realiza depinde de forța centrifugă şi de masa diferită a particulelor armăturii, precum şi de frânarea mişcării particulelor în urma creşterii viscozității topiturii cu răcirea şi cu creşterea concentrației în particule.

3.10.2.3. Turnarea în stare semisolidă

Turnarea în stare semisolidă, *compocasting*, constă în realizarea unui amestec de aliaj parțial solidificat - material complementar prin agitare intensă, urmată de turnarea acestuia la temperaturi cuprinse în intervalul de solidificare. Fracția solidă trebuie menținută la 40% în momentul umplerii cavității generatoare a piesei. Avantajul procedeului este dat de fenomenul de antrenare a particulelor solide ale armăturii de către particulele solidificate ale matricei, având ca efect, completat prin agitarea amestecului, prevenirea segregării.

3.10.2.4. Turnarea prin infiltrare

Turnarea prin infiltrare constă în introducerea aliajului topit în porii unei preforme din fibre continue, sub acțiunea forțelor gravitaționale, centrifuge, capilare, prin aspirație sau cu suprapresiune.

3.10.2.5. Turnarea cu presare în matriță

Turnarea cu presare în matriță *squeeze casting* se poate aplica fie la turnarea unui amestec (topitură + particule/fibre discontinue) sau la infiltrarea unei topituri în preformă. Se pot obține piese cu compactitate ridicată.

3.11. PARTICULARITĂȚILE TURNĂRII PIESELOR DIN MATERIALE NEMETALICE

Ca volum de materiale turnate şi diversitate, materialele nemetalice ocupă primul loc în producția mondială de piese realizate prin turnare. Materialele nemetalice se utilizează mai ales în stare turnată, ele fiind folosite în industria construcțiilor de maşini, utilaje şi aparate şi în domeniul construcțiilor civile şi industriale.

3.11.1. Turnarea betonului

Deşi betonul armat este un material compozit, datorită numărului mare de aplicaţii şi a volumului mare de material prelucrat el este tratat separat, sub aspectul turnării matricei.

La punerea în operă a betoanelor, trebuie avute în vedere următoarele etape principale de lucru:

- *verificarea locului de turnare:* terenul de fundare; dimensiunile şi cotele de nivel ale săpăturilor, corespondenţa cotelor cofrajelor cu cele din proiect, orizontalitatea şi planeitatea cofrajelor, plăcilor şi grinzilor, respectiv verticalitatea celor pentru stâlpi şi diafragme, precum şi corespondenţa acestora cu cele de la nivelele inferioare; rezistenţa, stabilitatea şi etanşeitatea cofrajelor; rezistenţa şi stabilitatea elementelor de susţinere; corectitudinea realizării armării (dimensiuni, poziţionare, solidarizare, asigurarea acoperirii cu beton), existenţa, conform proiectului, a pieselor care rămân înglobate în beton sau a celor care servesc la realizarea golurilor;

- *pregătirea turnării:* curăţirea cofrajului şi a armăturilor de eventuale corpuri străine, resturi de beton de la turnările anterioare sau rugină neaderentă; tratarea suprafeţelor de contact ale rostului de turnare; udarea cu apă a suprafeţelor care urmează să intre în contact cu betonul proaspăt; asigurarea căilor de acces şi de transport a betonului;

- *reguli generale de turnare:*

- betonul se va turna în maximum 15 minute, avându-se în vedere terminarea punerii sale în operă înainte de începerea prizei cimentului;

- descărcarea betonului se va face numai în mijloacele special destinate (jgheaburi, bene, pompe de beton) şi nu direct pe pământ;

- dacă betonul prezintă segregări, se va face amestecarea lui pe platforme special destinate, înainte de turnare;

- se va asigura o înălţime de cădere liberă mai mică de 1,5 m; trebuie să se evite căderea directă a betonului în cofraj, datorită pericolului segregării exterioare;

- descărcarea betonului pe suprafaţa elementului care urmează a fi realizat se face în sensul invers celui în care se înainteaza cu betonarea, pentru a se evita pericolul segregării şi pentru a nu fi călcat de muncitori;

- betonul se va răspândi uniform, în straturi cu grosimea stabilită în funcţie de condiţiile de compactare;

- turnarea se va face fără întreruperi, între rosturile de turnare;

- se va evita deplasarea sau deformarea armăturilor în timpul turnării;

- se va asigura acoperirea corespunzătoare cu beton a armăturilor;

- nu se vor transmite şocuri sau vibraţii armăturilor, deoarece acestea duc la scăderea aderenţei între beton şi armătură;

- în porţiunile înguste, se va urmări umplerea completă a secţiunii;

- circulatia muncitorilor şi a utilajelor de transport se va face numai pe punți special destinate, şi nicidecum direct peste cofraje sau armături; circulația, rezemarea sau depozitarea materialelor, pe planşeele turnate anterior, este admisă numai după întărirea betonului (24…36 de ore, funcție de tipul cimentului utilizat);

- în cazul unor deformări sau deplasări ale cofrajului, apărute în timpul betonării, aceasta trebuie întreruptă, procedându-se la înlăturarea defecțiunii înainte de începerea prizei cimentului.

- *tratamente aplicate după turnarea betoanelor:*

- compactarea se face în scopul reducerii porilor (în urma evaporării apei, sau a înglobării aerului) sau a eliminării golurilor de turnare; compactarea se poate face manual, prin batere şi îndesare, sau mecanic, prin: vibrare, presare, laminare, vacuumare, centrifugare;

- protejarea betonului după turnare se face în scopul asigurării unor condiții optime de întărire (menținerea unui grad ridicat de umiditate, asigurarea unui microclimat favorabil);

- accelerarea întăririi betonului se face în producția de elemente prefabricate, din beton armat şi precomprimat, pentru a facilita decofrarea şi a scurta ciclul de fabricație.

3.11.2. Turnarea maselor plastice

3.11.2.1. Materialele termoreactive

Materialele din această categorie sunt: răşinile fenoplaste, răşinile carbamidice, răşinile poliesterice, răşinile epoxidice. Aceste mase plastice se prelucrează prin turnare în matrițe în stare lichido-vâscoasă, urmată de presare, procedeu similar turnării prin matrițare lichidă (subcapitolul 3.9.2).

Turnarea se poate face în două moduri:

- cu presare directă, când materialul este topit chiar în cavitatea generatoare a piesei;

- cu presare prin transfer, când materialul este topit într-o cameră separată a matriței şi este ulterior transferat prin presare în cavitatea generatoare a piesei.

3.11.2.2. Materialele termoplastice

Materialele din această categorie sunt: policlorura de vinil şi copolimerii acesteia, polietilena (de joasă, medie şi înaltă presiune), polipropilena, polistirenul, polimetacrilatul de metil, poliamidele, policarbonații, acetatul de celuloză etc.

Aceste mase plastice se prelucrează în stare lichido-vâscoasă prin:

- turnare sub presiune în matrițe de injecție;
- turnare sub presiune în matrițe cu umflarea piesei;
- turnarea prin aspirație în matrițe (formarea în vid);

- turnare continuă prin extrudarea materialului;
- turnare continuă prin laminarea materialului.

3.11.3. Turnarea sticlei

Principala tehnică de prelucrare a sticlei este turnarea, procedeele diferă însă în funcție de destinația pieselor, astfel:
- realizarea foilor de geam se face prin turnare continuă urmată de laminare;
- realizarea buteliilor şi a recipientelor se face prin turnare şi suflare în matrițe;
- realizarea obiectelor decorative se face prin turnare şi fasonare;
- realizarea tuburilor cinescop se face prin turnarea în matriță, urmată de asamblare prin sudare;
- realizarea vatei de sticlă se face prin turnare continuă cu centrifugare sau suflare;
- realizarea fibrelor de sticlă se face prin turnare continuă, urmată de trefilare.

3.11.4. Turnarea cauciucului

Prelucrarea cauciucului se face prin turnare din stare vâsco-plastică în matrițe sub presiune, operație însoțită de vulcanizare. Un caz deosebit este constituit de realizarea produselor lungi, de tipul furtunelor, cablurilor electrice izolate, benzilor şi covoarelor, firelor, prin turnare continuă însoțită de: extrudare, suflare, laminare sau tragere. Pentru îmbunătățirea proprietăților mecanice, se realizează produse armate, cu fibre textile, de sticlă, de carbon, fire metalice sau cu inserții metalice. Produsele armate pot fi incluse în categoria materialelor compozite, cauciucul fiind matricea, iar fibrele constituind armătura.

3.11.5. Turnarea materialelor compozite nemetalice

3.11.5.1. Materiale compozite cu matrice organică

Fabricarea pieselor din materiale compozite cu matrice organică se poate face utilizând procedeele din grupa turnării, astfel:
- turnarea gravitațională a amestecului compus din răşini termorigide şi fibre scurte de sticlă în forme deschise. Metoda este deosebit de simplă şi se aplică la realizarea pieselor mari. Nu se poate asigura o compactitate bună a materialului şi o calitate bună a suprafeței;
- turnarea la presiune joasă sau prin aspirație a amestecului într-o formă metalică închisă. Astfel se pot realiza piese cu configurație complexă, precizie

dimensională şi calitate a suprafeței corespunzătoare;

- turnarea la presiune înaltă, în matrițe de injecție, pe maşini specializate, lucrând în cicluri automatizate, în producția de serie şi masă (cu piston - pentru răşini termorigide sau cu melc transportor - pentru răşini termoplaste). Se obțin piese cu compactitate şi calitate a suprafeței foarte bune.

3.11.5.2. Materiale compozite ceramice

Fabricarea pieselor din compozite ceramice se face prin:

- amestecarea componentelor, urmată de turnarea lor într-o formă şi de sinterizarea amestecului;
- realizarea unui amestec sub formă de pastă (din materialul matricei, sub formă de pulbere, şi un liant lichid), în care se înglobează armătura, amestecul fiind turnat apoi sub presiune în matriță.

3.12. TRATAMENTE APLICATE PIESELOR TURNATE DUPĂ SOLIDIFICARE

Într-un sens mai larg, tratamentele aplicate pieselor brut turnate cuprind toate operațiile ulterioare solidificării piesei în forma de turnare, prin care se îmbunătățesc caracteristicile piesei (fig.3.135).

Ca tratamente pot fi considerate:

- dezbaterea formelor şi extragerea piesei;
- curățirea pieselor;
- tratamentele termice şi termochimice;
- tratamentele fizice şi termo-mecanice;
- acoperirile şi tratamentele de suprafață.

3.12.1. Dezbaterea formelor

În cazul turnării în forme temporare, dezbaterea este operația de distrugere a formei în scopul scoaterii piesei solidificate. Când se folosesc miezuri, această operație include şi evacuarea miezurilor din piesă. Dezbaterea formelor se poate face manual, cu scule de mână - în cazul pieselor mici şi mijlocii, în producția de serie mică şi unicate, şi mecanizat - în toate celelalte cazuri.

Dezbătătoarele mecanice trebuie să asigure: separarea piesei de amestecul de formare, fără a se deteriora piesa; recuperarea amestecului de formare; reținerea prafului. Construcția dezbătătoarelor este diversă, separarea piesei putându-se face prin vibrarea formei (mese şi grătare vibratoare, vibratoare suspendate, dezbătătoare tip transportor), golirea ramei de formare prin împingerea formei

(dezbătătoare cu piston hidraulic), golirea ramei prin scuturare, rotirea formelor într-un tambur (la turnarea fără rame).

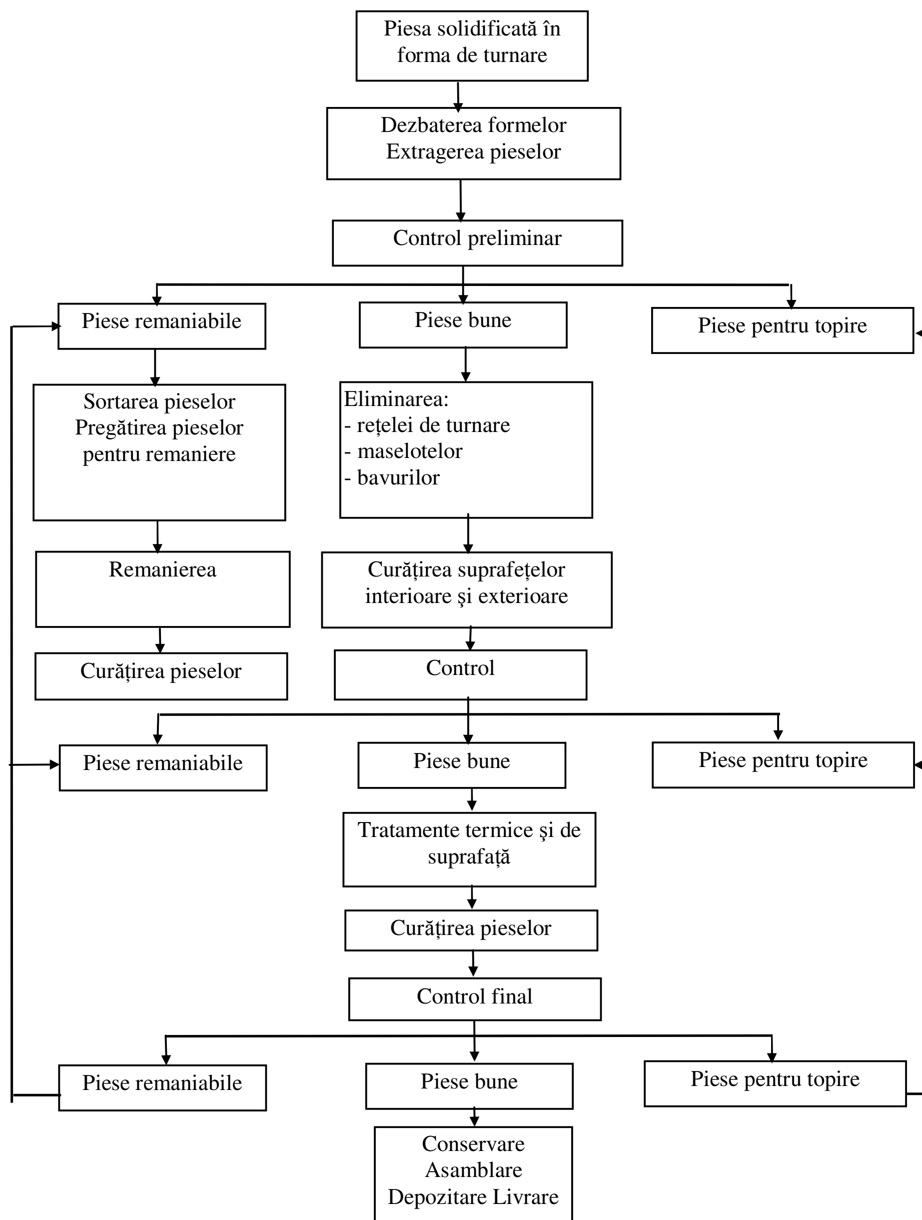


Fig. 3.135. Fluxul tehnologic de finisare a pieselor brut turnate.

În cazul turnării în forme permanente, se foloseste termenul de „extragerea piesei”. Extragerea piesei se poate face manual cu scule de mână (cleşti, cârlige) sau mecanic cu aruncătoare sau extractoare. La maşinile de turnat şi la liniile automate de turnare extragerea piesei se face în cadrul ciclului automatizat de lucru.

Evacuarea miezurilor temporare din piesă se poate face mecanizat pe maşini speciale, care lucrează prin ciocănire-vibrare sau cu jet hidraulic. Aceste metode se pot utiliza în cazul pieselor cu configurație interioară complexă, în producția de serie mare şi masă (chiulase, blocuri motor), precum şi la piese mari şi grele, în productia de serie mică (batiuri, montanți, traverse etc.).

3.12.2. Curățirea pieselor după turnare

Operația de curățire după turnare constă în:

- eliminarea resturilor de amestec de formare şi de miez de pe suprafețele pieselor;
- tăierea şi îndepărtarea rețelelor de turnare şi a maselotelor;
- tăierea şi îndepărtarea bavurilor şi excrescențelor;
- cojirea şi îndepărtarea stratului de oxizi (țunder).

Curățirea se poate face: manual, cu scule portabile (dălți pneumatice şi electrice, perii rotative, polizoare) - în producția de unicate şi serie mică; mecanizat, pe utilaje specializate (maşini de tăiat rețele de turnare şi maselote, maşini de debavurat şi polizat, utilaje de curățat piese turnate); în ciclu automat, la liniile automate de turnare, în producția de serie mare şi masă.

Tăierea rețelelor de turnare şi a maselotelor se poate face:

- la piesele din fontă prin: rupere cu ciocanul, tăiere cu disc abraziv, tăiere cu freza disc, tăiere pe presă;
- la piesele din oțel prin: tăiere pe presă, tăiere cu flacără, tăiere cu disc abraziv, tăiere cu freza disc;
- la piesele din aliaje de aluminiu prin: tăiere pe presă, ferăstrău cu bandă, tăiere cu disc abraziv, tăiere cu freza disc;
- la piesele din aliaje de cupru prin: rupere cu ciocanul, tăiere cu disc abraziv, tăiere cu freza disc.

Piesele de dimensiuni mici şi medii de construcție compactă, fără pereți subțiri sau muchii ascuțite, se pot curăți (debavurare, îndepărtarea defectelor de suprafață, micşorarea rugozității) prin tobare. *Tobarea* constă în amestecarea prin rostogolire a pieselor împreună cu anumite corpuri, de mărime, formă şi duritate bine determinată, în funcție de nivelul de calitate a suprafețelor care se doreşte a fi realizat, într-un tambur rotitor. Procedeul se poate desfăşura umed sau uscat. Curățirea pieselor survine datorită frecării dintre piese şi corpurile abrazive.

O altă modalitate de curățire a suprafețelor pieselor, prin care se poate realiza şi îmbunătățirea proprietăților stratului superficial, prin compactarea

mecanică a acestuia, este sablarea cu alice („alicarea”). *Alicarea* constă în bombardarea suprafeței piesei cu jeturi de alice, transportate prin intermediul aerului comprimat. Pentru piesele mari şi grele, se utilizează instalații de alicare cu mai multe capete de sablare mobile, cu deplasare centrifugală, piesa fiind aşezată pe o masa rotitoare.

Curățirea electrochimică se aplică pieselor din fontă şi oțel, de dimensiuni mici şi mijlocii, cu o configurație complexă. Curățirea se face prin imersarea pieselor în băi de săruri topite (90% NaOH), urmată de spălarea pieselor în băi de neutralizare.

3.12.3. Tratamentele termice şi termochimice

În funcție de destinația ulterioară a piesei turnate, aproape în majoritatea cazurilor, piesele turnate sunt supuse unor tratamente termice. Tratamentele termice şi termochimice sunt destinate îmbunătățirii proprietăților mecanice ale pieselor brut turnate, fie în vederea prelucrării prin aşchiere (înmuierea straturilor superficiale, pe adâncimea adaosului de prelucrare), fie în vederea funcționării (durificarea superficială, obținerea unor structuri fine şi stabile). Ciclurile de tratament termic aplicate pieselor turnate diferă în raport cu materialul piesei şi rolul funcțional al acesteia.

3.12.3.1. Tratamente termice pentru piese din fontă cu grafit lamelar

Cele mai utilizate tratamente sunt cele pentru detensionare. Tratamentele pentru detensionare se aplică pieselor turnate şi celor remaniate prin sudare. Ele au drept scop eliminarea tensiunilor remanente produse prin răcirea neuniformă, prin frânarea contracției şi în urma transformărilor structurale. Cele mai curente tratamente de detensionare sunt îmbătrânirea naturală şi cea artificială.

Îmbătrânirea naturală constă în menținerea piesei la temperatura mediului ambiant timp de 3...24 luni sau chiar mai mult.

Îmbătrânirea artificială sau recoacerea de detensionare constă în încălzirea pieselor cu viteză mică (sub 50°C/h), urmată de menținerea (între 2...24 ore, în funcție de grosimea peretelui şi a importanței piesei) şi de răcirea lentă în cuptor cu viteză mică (sub 50°C/h) până la 150°C, urmată de răcirea liberă în aer.

Recoacerea pentru înmuiere se aplică în scopul îmbunătățirii prelucrabilității prin aşchiere, prin descompunerea cementitei libere, şi constă în încălzirea pieselor cu viteză medie de 80...120°C/h, până la 870...950°C, în funcție de grosimea pereților piesei, urmată de menținerea 1..2 h - pentru fiecare 25 mm grosime de perete. Apoi urmează o răcire lentă în cuptor până la 350°C şi de răcirea liberă în aer. Se poate face numai o *recoacere pentru globulizarea* perlitei lamelare, caz în care încălzirea pieselor are loc la temperatura de 675...825°C.

Normalizarea se aplică în scopul îmbunătățirii proprietăților mecanice, prin

modificarea conținutului de perlită, şi constă în încălzirea pieselor la 850...950°C timp de 1...3 h - pentru fiecare 25 mm grosime de perete, urmată de răcirea liberă în aer.

Călirea se aplică în scopul îmbunătățirii proprietăților mecanice prin formarea unei structuri în afară de echilibru, martensită sau soluție solidă suprasaturată, şi constă în încălzirea pieselor la 850...900°C, cu menținere timp de 1 h pentru fiecare 25 mm grosime de perete, urmată de răcirea rapidă în ulei. În cazul *călirii martensitice izoterme* răcirea se face mai întâi lent într-o baie de săruri la 225...450°C, cu menținere 1 minut pentru fiecare 5 mm grosime de perete, urmată de răcirea rapidă în aer. *Călirea martensitică superficială* se aplică în scopul îmbunătățirii proprietăților mecanice ale stratului superficial prin formarea unei structuri martensitice, în restul volumului materialului piesei structura rămânând nemodificată, şi constă în încălzirea locală a pieselor la temperatura de călire, cu menținere pentru aducerea grafitului greu solubil în soluție, urmată de răcirea rapidă în aer. Încălzirea se face prin inducție sau cu flacără.

Îmbunătățirea se aplică în scopul creşterii proprietăților mecanice. Este un tratament complex, care constă într-o călire urmată de revenire înaltă la 700°C.

3.12.3.2. Tratamente termice pentru piese din fontă cu grafit nodular

Feritizarea se aplică pieselor turnate din fontă cenuşie pentru obținerea unor structuri feritice sau ferito-perlitice, în cazul mărcilor Fgn 370-17, Fgn 400-12, Fgn 400-5, Fgn 500-7 ale căror proprietăți nu pot fi obținute direct prin turnare. Feritizarea constă în încălzirea la 910...930°C timp de 2h pentru fiecare 25mm grosime de perete, urmată de răcire cu 50°C/h până la 700°C, cu menținere 2...3h, urmată de răcire lentă în cuptor până la 600°C şi apoi răcire rapidă în aer.

Călirea se face la 850...950°C cu răcire în ulei, urmată de revenire joasă la 425°C. Se poate aplica şi călire izotermă la 900°C şi răcire în baie de săruri la 400...450°C. Călirea superficială se face prin încălzire la 840...900°C, timp de 5...9s, urmată de răcire rapidă cu emulsii apă-ulei. Se recomandă ca înainte de călire să se facă o recoacere pentru perlitizare.

Îmbunătățirea se face prin călire la 850°C, răcire în ulei şi revenire la 400...700°C.

Recoacerea pentru detensionare se execută la 530°C, respectiv la 870°C pentru fontele austenitice.

3.12.3.3. Tratamente termice pentru piese din fontă maleabilă

Fontele maleabile se solidifică sub formă de fontă albă (perlită + ledeburită). Pentru a le creşte tenacitatea şi a îmbunătăți prelucrabilitatea prin aşchiere li se aplică *tratamentul de maleabilizare*. Acesta constă dintr-o recoacere de maleabilizare prin care se realizează descompunerea carburilor secundare şi a celor eutectice şi formarea grafitului în cuiburi. În funcție de structura masei de bază a fontei maleabile, acestea pot fi cu inimă albă, perlitice, sau cu inimă neagră -

feritice. Tratamentul este costisitor deoarece necesită durate mari de menținere (40...100h, la temperaturi ridicate: 950...1000°C), fiind rentabil numai când tenacitatea este o caracteristică foarte importantă a piesei. După maleabilizare, piesele pot fi supuse unei *recoaceri de globulizare* a perlitei la 750°C, cu răcire lentă până la 680°C, şi apoi rapidă în aer, urmată de o *călire superficială.*

3.12.3.4. Tratamente termice pentru piese din fontă aliată

Fontelor aliate li se pot aplica tratamente de detensionare, normalizare, călire şi îmbunătățire, parametrii tehnologici ai acestor tratamente variind în funcție de tipul piesei şi de compoziția fontei.

3.12.3.5. Tratamente termice pentru piese din oțel carbon

Structura pieselor brut turnate din oțel carbon este improprie utilizării ca atare, având tensiuni interne datorate: solidificării în formă, şocurilor termice cauzate de tăierea rețelei de turnare şi a maselotelor, zonelor influențate termic de remanierea defectelor prin sudare. Toate aceste cauze duc la proprietăți mecanice necorespunzătoare. De aceea, este obligatorie îmbunătățirea proprietăților după turnare, de regulă, prin tratamente termice. Cele mai des utilizate tratamente termice sunt: recoacerea, normalizarea şi călirea.

Recoacerea pentru detensionare constă în încălzirea pieselor cu viteză mare, 100°C/h până la 590...610°C, cu menținerea de 1h pentru fiecare 25 mm grosime de perete, plus 2h, urmată de răcirea cu viteză moderată 50°C/h până la 200°C şi apoi răcirea rapidă în aer.

Recoacerea peste A_{C3} se aplică pentru îmbunătățirea proprietăților mecanice şi constă în încălzirea lentă cu viteze sub 50°C/h până la 860...920°C, cu menținere 1h pentru fiecare 25 mm grosime de perete, după care se face răcirea lentă în cuptor până la 400°C, urmată de răcirea în aer.

Normalizarea şi detensionarea se aplică în completarea recoacerii peste A_{C3}, pentru îmbunătățirea proprietăților mecanice, şi constă în încălzirea lentă cu viteze sub 50°C/h până la 860...920°C, cu menținere 1h pentru fiecare 25 mm grosime de perete, după care se face răcirea rapidă în curent de aer până la 350°C, urmată de o recoacere pentru detensionare.

Recoacerea de difuziune-normalizare-detensionare se aplică pieselor mari, cu segregații, pentru îmbunătățirea proprietăților mecanice. Este un tratament costisitor, care produce în secundar oxidarea şi decarburarea materialului.

Recoacerea de difuziune se aplică pentru reducerea segregațiilor cristaline şi constă în încălzirea în trepte de preîncălzire sau continuă, cu viteze lente, sub 50°C/h până la 1 100...1 150°C, cu menținere 1h pentru fiecare 25 mm grosime de perete plus 4...6h necesare difuzării carbonului. Răcirea se face în aer până la 550°C, după care se face preîncălzirea pentru normalizare şi detensionare.

Călirea superficială cu flacără se face pentru creşterea superficială (adâncime 2...4 mm) a durității şi rezistenței la uzare în cazul pieselor turnate din OT 500, OT 550, OT 600.

3.12.3.6. Tratamente termice pentru piesele din oțeluri aliate

Oțelurile slab şi mediu aliate se supun de regulă tratamentului de îmbunătățire pentru obținerea structurii sorbitice sau martensitice de revenire.

Tratamentele recomandate pentru oțelurile înalt aliate turnate în piese pentru construcția de maşini sunt specificate în STAS 1773-76 şi, de regulă, ele constau în îmbunătățire, călire, normalizare.

Tratamentele termice recomandate pentru oțelurile refractare şi inoxidabile turnate în piese şi sudate în industria construcțiilor de maşini sunt specificate în STAS 6855-78.

3.12.3.7. Tratamente termice pentru piesele din aliaje neferoase

Cele mai des utilizate sunt: recoacerea, călirea, îmbunătățirea şi tratamentele termomecanice.

Recoacerea fără cristalizare fazică include: recoacerea de omogenizare,de recristalizare şi de detensionare. Se face în scopul uniformizării şi stabilizării în timp a proprietăților şi a dimensiunilor pieselor turnate.

Recoacerea cu transformări de fază în stare solidă se aplică pieselor după deformarea plastică.

Călirea pentru durificare se aplică aliajelor de Cu-Al şi a celor de Ti.

Călirea pentru punere în soluție se aplică aliajelor de: Cu-Cr; Cu-Be; Cu-Si; Cu-Ni; Ni-Cr; Al-Cu; Al-Mg; Al-Zn; Al-Si; Al-Cu-Mg; Al-Mg-Si; Al-Mg-Si-Cr; Al-Zn-Mg-Cu; Mg-Al; Mg-Zn; Mg-Al-Zn; Ti-Al; Ti-Cr; Ti-V.

Îmbătrânirea se aplică după călire, în vederea obținerii unei structuri mai stabile decât cea de călire, dar situate tot în afara echilibrului structural. Se aplică în special aliajelor de aluminiu.

Tratamentele termo - mecanice constau în prelucrarea combinată - termică şi mecanică - în acelaşi domeniu de temperaturi, în scopul îmbunătățirii proprietăților mecanice şi detensionării piesei turnate.

3.13. DEFECTELE PIESELOR TURNATE

3.13.1. Generalități

Defectele pot fi cauzate de nerespectarea accidentală a tehnologiei de turnare, de utilizarea unor materii prime şi materiale neconforme şi de alegerea nejudicioasă a procedeului de turnare.

Defectele se datorează in primul rând fenomenelor care însoţesc elaborarea şi solidificarea materialelor turnate, cum ar fi (tab.3.32):

- contracţia : retasuri DT 43; microretasuri DT 44; porozităţi DT 45; tensiuni interne; deformaţii DT 15; crăpături la cald DT 31 şi la rece DT 32;
- segregarea: licuaţia DT 61; segregaţia DT 64; segregaţia cristalină; segregaţia zonală; segregaţia gazoasă; segregaţia gravitaţională;
- dizolvarea gazelor: caria DT 291; sufluri DT 41; sita DT 42;
- formei de turnare:
- erodarea pereţilor cavităţii la curgerea aliajului: bavura DT 13;
- interacţiunea termică dintre topitură şi materialul formei: arsuri DT 27; cruste DT 22; cruste DT 25;
- interacţiunea chimică cu aliajul topit: DT 6; DT 7;
- unor cauze accidentale: DT 1 - DT 7.

Din punctul de vedere al conceptului de asigurarea calităţii, procesele de turnare se încadrează în categoria proceselor speciale. Acestea sunt procesele ale căror rezultate nu pot fi verificate în întregime printr-o inspecţie şi o testare ulterioară a produsului obţinut şi, în consecinţă, este necesară supravegherea continuă a proceselor şi a conformităţii acestora cu proceduri de lucru documentate, în scopul prevenirii apariţiei defectelor sau a condiţiilor care favorizează producerea defectelor.

Apariţia defectelor la piesele turnate se pot datora:

- 50% deficienţelor de concepţie şi de proiectare a piesei;
- 50% deficienţelor de execuţie: tehnologia, disciplina tehnologică, cauzelor accidentale.

Defectele de turnare sunt standardizate conform STAS 782-79. În tabelul 3.32 clasificarea din standard a fost completată cu precizarea cauzelor posibile care au generat defectul .

Întotdeauna este importantă cunoaşterea cauzelor care pot conduce la apariţia defectelor, deoarece numai cunoscând cauzele se pot adopta măsurile necesare preîntâmpinării acestora (măsuri tehnologice, constructive etc.).

Câteva din cauzele apariţiei unor defecte foarte răspândite, precum şi măsurile de preîntâmpinare corespunzătoare se vor trata în continuare.

3.13.2. Defectele cauzate de fenomenul de contracţie

În timpul procesului de solidificare metalele şi aliajele suferă fenomenul de contracţie, care se manifestă atât în stare lichidă, cât şi în stare solidă. În general, contracţia totală C_T, a unui metal sau aliaj aflat în stare lichidă şi supus procesului de solidificare, se compune din

$$C_T = C_L + C_{LS} + C_S \pm C_F \; . \qquad (3.50)$$

Tabelul 3.32. *Defectele pieselor turnate*

		Cauzele posibile de apariție a defectelor pe traseul tehnologic				Reprezentarea
Simbolul STAS 782-79	**Denumirea**	**Proiectarea piesei**	**Proiectarea formei**	**Proiectarea tehnologiei**	**Execuția**	**schematică a defectului**
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
DT 1	**Forme, dimensiuni, mase necorespunzătoare**					
DT 11	Umplerea incompletă a formei	Pereți prea subțiri	-Rețea de turnare subdimensionată	- Temperatura de turnare prea mică - Cantitate insuficientă de material	-Infiltrarea materialului lichid prin planul de separație	
DT 12	Dezaxarea	–	-Jocuri mari ale știfturilor de închidere a ramelor -Miezuri cu mărci prea mici	–	-Montare greșită a modelelor -Asamblare necorespunzătoare a semiformelor și a miezurilor	
DT 13	Bavura	–	-Rame necorespunzătoare -Jocuri transversale mari la mărcile miezurilor	–	- Consolidare și ajustare necorespunzătoare a formei	
DT 14	Umflătura	–	-Rezistență insuficientă a formei	–	-Deformarea formei datorită rezistenței mecanice slabe -Grad de îndesare neuniform	
DT 15	Deformarea	-Diferență de grosime între pereți	-Rezistență insuficientă a formei	-Modul de răcire a piesei - Tratamentul termic	-Rezistența insuficientă a formei	

Tabelul 3.32 (*continuare*)

1	2	3	4	5	6	7
DT 16	Ştirbirea	–	–	–	-La cald datorită tăierii cu flacăre a maselotelor -La rece datorită dezbaterii formelor	
DT 17	Dimensiune necorespun-zătoare	–	-Model necorespunzător -Rezistenţă redusă a formei	–	-Model necorespunzător -Demulare greşită -Rezistenţă redusă a formei	
DT 18	Masă necorespun-zătoare	–	-Model necorespunzător	-Amestec de formare necorespunzător	-Amestec de formare necorespunzător -Deplasarea miezului în formă -Model necorespunzător	Idem
DT 2	**Defecte de suprafaţă**					
DT 21	Aderenţa (termică, chimică, mecanică)	–	–	-Amestec de formare necorespunzător	–	
DT 22	Repriza (sudura la rece)	-Pereţi prea subţiri	-Amplasare greşită a reţelei de turnare	-Temperatura şi viteza de turnare prea mici -Fluiditatea redusă a aliajului	- Întreruperea turnării	
DT 24	Excrescenţa	–	-Amplasare greşită a reţelei de turnare -Rezistenţa insuficientă a formei	-Amestec de formare necorespunzator	- Grad de îndesare redus	
DT 25	Creasta	–	-Modele cu înclinări necorespunzătoare	-Uscarea prea rapidă a formelor	-Uscarea prea rapidă a formelor -Demularea greşită	

Tabelul 3.32 (*continuare*)

1	2	3	4	5	6	
DT 26	Picătura	–	–	–	-Licuația la solidificare	
DT 27	Arsura	–	–	-Recoacerea necorespunzătoare a pieselor	–	
DT 28	Urme de deteriorare	–	–	–	-Dezbatere defectuoasă	
DT 291	Caria	–	–	-Degajarea locală de gaze	–	
DT 292	Rugozitate mare	–	–	-Alegerea necorespunzătoare a amestecului de formare	-Pătrunderea aliajului prin porii formei	
DT 293	Crusta	–	-Dilatarea locală a pereților formei	-Alegerea necorespunzătoare a amestecului de formare	–	
DT 294	Fagure	–	–	-Aliaj supraîncălzit, oxidat	-Aliaj supraîncălzit, oxidat	

Tabelul 3.32 (*continuare*)

1	2	3	4	5	6	7
DT 3	**Crăpături**					
DT 31	Crăpături la cald	Treceri bruşte	-Frânarea contracției de către forma de turnare	- Conținut ridicat de liant în amestecul de formare	- Grad de îndesare prea mare	
DT 32	Crăpături la rece	–	-Amplasarea greşită a rețelei de turnare	-Temperatura şi viteza de turnare prea mari	–	
DT 33	Crăpături la tratament termic	–	–	-Încălzire prea rapidă a piesei -Răcire prea rapidă la călire	–	
DT 4	**Goluri în corpul piesei**					
DT 41	Sufluri	–	-Rețea de turnare necorespunzătoare	-Degazare necorespunzătoare -Umiditate prea mare a formelor -Amestec de formare necorespunzător -Temperatura de turnare prea mică	-Îndesare prea mare a formelor -Întreruperea turnării	
DT 42	Sita	–	–	-Elaborare necorespunzătoare a aliajului -Amestec de formare necorespunzător	–	
DT 43	Retasura	–	-Amplasare necorespunzătoare a maselotelor	-Dirijare necorespunzătoare a solidificării	–	

Tabelul 3.32 (*continuare*)

1	2	3	4	5	6	
DT 44	Microretasura	Noduri termice, pereți inegali	-Dimensionare şi amplasare greşită a maselotelor	-Temperatura prea ridicată de turnare	-Montare excentrică a miezurilor în formă	
DT 45	Porozități	–	–	-Solidificare necorespunzătoare	–	
DT 5	**Incluziuni**					
DT 51	I. De zgură	–	-Rețea de turnare necorespunzătoare	-Viteza de turnare prea mică -Amestec de formare necorespunzător -Aliaj elaborat necorespunzător	-Întreruperea turnării -Curățire incompletă a zgurei	
DT 52	I. De amestec de formare	–	-Rezistență mică a formei	-Menținerea formelor crude prea mult timp înainte de turnare	-Curățire necorespunzătoare a formei -Repararea şi asamblarea necorespunzătoare a formelor	
DT 53	I. Nemetalice	–	-Amplasare greşită a rețelei de turnare	-Dezoxidare necorespunzătoare	-Turnare de la înălțime prea mare	
DT 54	Picătura rece	–	-Rețea de turnare necorespunzatoare	-Temperatura prea scăzută de turnare -Umiditate prea mare a formelor	-Turnare de la înălțime prea mare	

Tabelul 3.32 (*continuare*)

1	2	3	4	5	6	
DT 55	I. Metalice	–	–	–	-Asamblare neglijentă a formelor	
DT 6	**Defecte de structură**					
DT 61	Licuaţia (separarea componente-lor aliajului la solidificare)	–	–	-Temperatura prea mare de turnare -Viteza prea mică de răcire	- Compoziţia chimică necorespunzătoare a aliajului	–
DT 62	Neconcor-danţă a mărimii grăuntelui	–	–	-Viteza prea mică de solidificare	-Dezoxidare insuficientă pentru oţel -Modificare necorespunzătoare pentru fonte şi neferoase	–
DT 63	Zona dură (pt piesele din fontă)	–	–	-Tratament termic necorespunzător -Remediere greşită prin sudare	–	
DT 64	Segregaţia	Piesa cu noduri termice	–	-Temperatura prea ridicată de turnare (pt piesele cu pereţi groşi) -Răcirea piesei cu viteză prea mică	-Elaborarea necorespunzătoare a aliajului (oxizi, gaze, incluziuni)	–
DT 65	Neconcor-danţă a structurii	–	–	-Neconcordanţa dintre viteza de răcire, compoziţia chimică şi grosimea pereţilor piesei -Tratament termic necorespunzător	-Elaborare necorespunzătoare a aliajului	–
DT 66	Strat decarburat	–	–	-Tratament termic necorespunzător	–	–

Tabelul 3.32 (*continuare*)

1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	
DT 7	**Compoziţia chimică, caracteristici mecanice şi fizice necorespunzătoare**					
DT 71	Neconcor-danţă a compoziţiei chimice	–	–	–	-Elaborare necorespunzătoare -Dozare greşită -Conducere greşită a procesului	–
DT 72	Neconcor-danţă a proprietăţilor mecanice	–	–	-Răcire necorespunzătoare -Tratament termic necorespunzator	-Elaborare necorespunzătoare a aliajului	–
DT 73	Neconcor-danţă a caracteristici-lor fizice	–	–	-Compoziţie chimică necorespunzătoare -Tratament termic necorespunzător	–	–

unde: C_L este contracția în stare lichidă (în decursul scăderii temperaturii de la temperatura de turnare la temperatura de topire); C_{LS} - contracția la trecerea din starea lichidă în starea solidă; C_S - contracția în stare solidă (în decursul scăderii temperaturii de la temperatura de solidificare la temperatura mediului ambiant); C_F - contracția rezultată în decursul transformărilor de fază produse în stare solidă.

Valoarea cea mai importantă o are termenul C_{LS}. Principalele efecte ce însoțesc contracția la solidificare şi care pot provoca defecte sunt: formarea retasurilor şi microretasurilor, apariția tensiunilor interne, apariția deformațiilor şi apariția crăpăturilor.

3.13.2.1. Formarea retasurilor şi microretasurilor

Retasura sau golul de contractie este rezultatul contracției metalului sau aliajului la trecerea din starea lichidă în starea solidă. În cazul unei *solidificări dirijate* (când grosimea pereților piesei creşte de jos în sus) golul de contracție numit *retasură* se formează în partea de sus (fig.3.136. a). În cazul unei *solidificări simultane* (când grosimea pereților piesei este constantă) ca urmare a faptului că volumul solidului rezultat este mai mic decât al lichidului din care a provenit se va forma o retasură în partea centrală şi o *porozitate* axială (fig.3.136. b) rezultată din solidificarea ultimelor cantități de lichid.

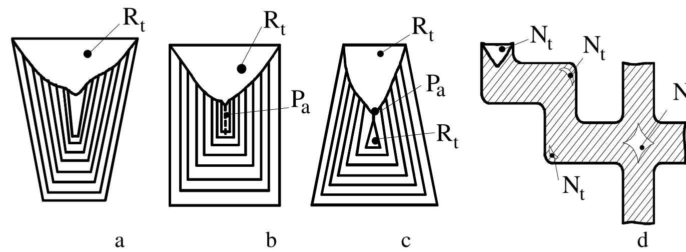


Fig. 3.136. Formarea golurilor de contracție (retasurilor):
a - la solidificarea dirijată; b - la solidificarea simultană; c - în cazul descreşterii grosimii peretelui de jos în sus: R_t - retasură; P_a - porozitate axială; N_t - noduri termice.

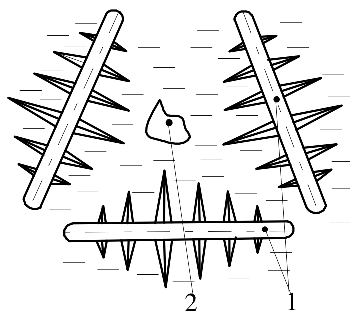


Fig. 3.137. Formarea microretasurilor:
1 - dendrite orientate arbitrar;
2 - microretasură (microporozitate).

În cazul când grosimea peretelui descreşte de jos în sus, din aceleaşi motive pot apărea două retasuri: o retasură principală la partea superioară şi o retasură secundară în partea centrală a

piesei (fig.3.136. c).

Deci, defectele de tipul goluri de contracție apar în acele piese care prezintă fie grosime uniformă a pereților, fie grosimi variabile care împiedică solidificarea dirijată (fig.3.136. d). Aglomerările de metal înscrise în sfere ce nu pot fi rostogolite în sus prin pereții piesei până la partea superioară se numesc *noduri termice;* acestea, solidificându-se mai târziu decât restul piesei vor forma *goluri de contracție.* Pe lângă retasurile de contracție concentrate în partea superioară sau în nodurile termice, mai apar goluri de solidificare sub formă de *microretasuri* sau microporozități ca urmare a împiedicării pătrunderii metalului lichid între dendritele orientate conform cu gradientul de temperatură (fig.3.137).

Microretasurile apar în special la aliajele cu interval mare de solidificare şi produc o micşorare însemnată a proprietăților mecanice şi o pierdere a etanşeității.

3.13.2.2. Măsuri de prevenire a defectelor datorate retasurilor şi microretasurilor

Tehnologul sau proiectantul de procese tehnologice de realizare a pieselor turnate au la îndemână o serie de măsuri tehnologice şi constructive pentru a preveni această categorie de defecte.

Măsurile tehnologice constau în:

- utilizarea *maselotelor* în scopul transferării golului de contracție din piesă în afara ei (fig.3.138. a). Fără maselotă, piesa ar fi prezentat după solidificare retasura R_{t0}. Prin solidificarea asistată de maselotă, retasura este transferată în pozitia R_t'. Rolul maselotei este îndeplinit atunci când se asigură o solidificare dirijată a peretelui piesei spre maselotă, de aceea pereții piesei se îngroaşă corespunzător cu nişte *adaosuri tehnologice* A_t (fig.3.138. b). Câmpul de acțiune al unei maselote se întinde numai pe o anumită zonă (egală cu de două ori grosimea peretelui pe care se pune), de aceea în funcție de configurația geometrică a piesei se prevăd mai multe maselote (fig.3.138. c);

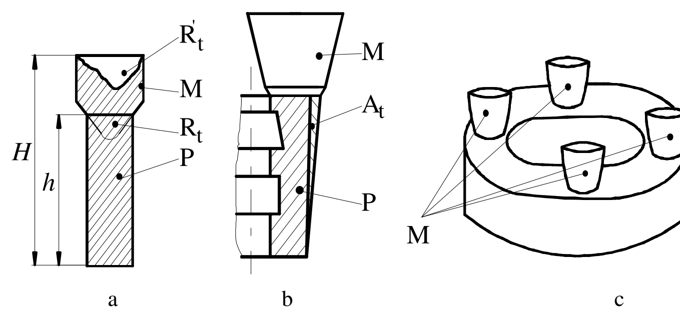


Fig. 3.138. Modul de amplasare a maselotelor:
a, b - în partea superioară a piesei; c - funcție de geometria piesei: R_t - retasura; R_t'-retasura transferată; M - maselota; P - piesa; A_t - adaos tehnologic; *h* - înălțimea piesei turnate; *H* - înălțimea piesei brut turnate.

- utilizarea *acceleratorilor de răcire*, denumiţi şi *răcitori,* cu scopul prevenirii formării retasurilor în nodurile termice de la joncţiunea a doi pereţi sau de la colţurile interioare ale pieselor. Răcitorii pot fi *interiori* (au aceeaşi compozitie ca şi metalul sau aliajul care se toarnă) sau *exteriori* (plăci metalice de fontă sau oţel încorporate în peretele formei în dreptul nodurilor termice). Răcitorii interiori au formă de cuie, bare, spirale de sârmă (fig.3.139. a) şi rămân încorporaţi în piesa turnată, spre deosebire de răcitorii exteriori care rămân în peretele formei de turnare (fig.3.139. b).

Măsurile constructive constau în:

- proiectarea judicioasă a piesei turnate;

- modificarea constructivă a piesei cu respectarea aceluiaşi rol funcţional (fig.3.140).

Prevenirea formării microretasurilor se face mai ales prin exercitarea unei presiuni asupra metalului sau aliajului lichid în momentul solidificării (turnarea sub presiune, centrifugală etc.).

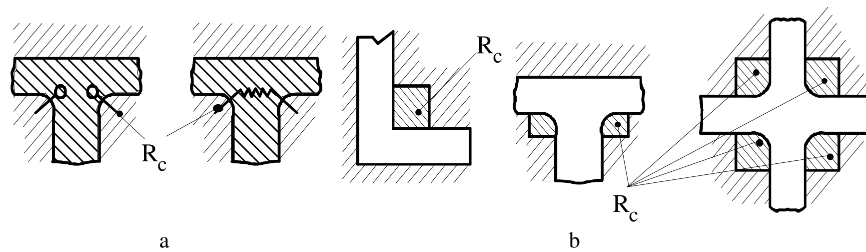


Fig. 3.139. Modul de amplasare a acceleratorilor de răcire:
a - răcitori interiori; b - răcitori exteriori; R_c - răcitori.

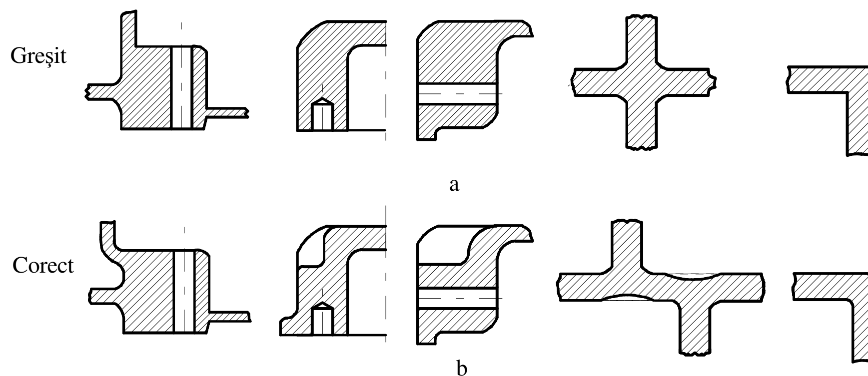


Fig. 3.140. Modificarea constructivă a pereţilor pieselor turnate în vederea evitării nodurilor termice:
a - soluţii greşite; b - soluţii corecte.

3.13.2.3. Apariția tensiunilor interne

Apariția tensiunilor interne este rezultatul solidificării cu viteze diferite pe secțiune a straturilor de metal sau aliaj. Pot apărea trei categorii de tensiuni:

- *termice* - datorate răcirii neuniforme a pereților piesei, în sensul că pereții subțiri şi porțiunile mai îndepărtate de punctul de intrare a metalului în formă se răcesc mai repede decât pereții groşi şi zonele apropiate de punctul de alimentare; există deci un moment în care o parte a piesei este în stare plastică, iar cealaltă în stare elastică (partea aflată în stare plastică îşi va adapta lungimea după partea aflată în stare elastică); când şi a doua parte va atinge starea elastică ambele părți se vor contracta diferit: în părțile groase vor apărea *tensiuni de întindere*, iar în părțile subțiri - *tensiuni de compresiune* (vezi capitolul 2);
- *fazice* - datorate traversării în timpi diferiți a liniilor de transformare de fază; în multe situații transformările de fază sunt însoțite de modificări ale volumului specific al constituenților structurali şi deci de apariția unor tensiuni interne;
- *de contracție* - datorate împiedicării contracției prin rezistența opusă de miezuri sau forme (aceste tensiuni au caracter temporar, ele dispărând odată cu cauza care le-a provocat).

Prevenirea şi combaterea tensiunilor interne se face printr-o serie de măsuri cu caracter constructiv sau tehnologic, cum ar fi:

- răcirea cu viteză de răcire foarte mică a pieselor cu grosime uniformă, evitându-se diferențele mari ale vitezei între centrul peretelui piesei şi suprafața acestuia;
- accelerarea răcirii părților groase cu ajutorul răcitorilor;
- eliberarea părților groase de amestecul de formare imediat după solidificare;
- traversarea punctelor de transformare de fază cu viteză de răcire mică;
- scoaterea piesei din formă imediat după solidificare etc.
-aplicarea unor tratamente termice corespunzătoare (se aplică frecvent tratamentul termic de recoacere de detensionare).

3.13.2.4. Apariția deformațiilor

Apariția deformațiilor este o consecință a existenței tensiunilor interne în piesa turnată. Deformațiile care pot apărea depind de configurația geometrică a piesei şi pot fi cauzate şi de model şi de formă, nu numai de fenomenul de contracție. Deoarece tensiunile termice sunt de întindere, în părțile groase, şi de compresiune, în părțile subțiri, rezultă că părțile groase ale piesei au tendința de a-şi reduce lungimea, în timp ce părțile subțiri au tendința de a-şi mări lungimea. Astfel, o grindă turnată cu secțiunea în T se va deforma corespunzător cu dimensiunile secțiunii (fig.3.141. a şi b).

Cunoaşterea modului de deformare permite proiectarea unor piese care să nu sufere deformaţii (fig.3.141. c) sau construcţia unor modele cu deformaţia contrară celei pe care ar putea-o avea piesa turnată.

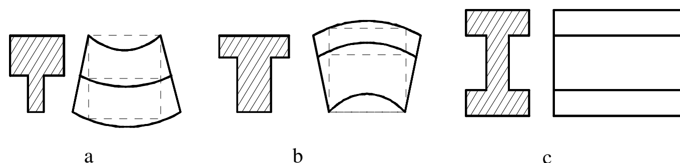


Fig. 3.141. Apariţia deformaţiilor în piesele turnate:
a - secţiunea groasă în partea superioară; b - secţiunea groasă în partea inferioară; c - secţiunea uniformă.

3.13.2.5. Apariţia crăpăturilor

Apariţia crăpăturilor este rezultatul existenţei tensiunilor interne care însumate depăşesc rezistenţa la rupere a materialului. După temperatura la care se produc se deosebesc:

- *crăpăturile la rece,* ce apar la temperatura ambiantă sau la temperaturi sub 500°C (deci în domeniul elastic); ele sunt drepte, puţin deschise, au întindere mare, cu tendinţa de a se propaga în continuare, iar ruptura este intracristalină de culoare metalică;
- *crăpăturile la cald*, ce apar la temperaturi înalte (deci în domeniul plastic); ele sunt mai largi decât crăpăturile la rece, de întindere mică, şerpuite şi fără tendinţa de a se propaga în continuare, iar ruptura este intercristalină puternic colorată în negru (ca urmare a unei oxidări puternice). Modul de apariţie a unei crăpături datorită împiedicării contracţiei piesei de către formă se prezintă în figura 3.142. a.

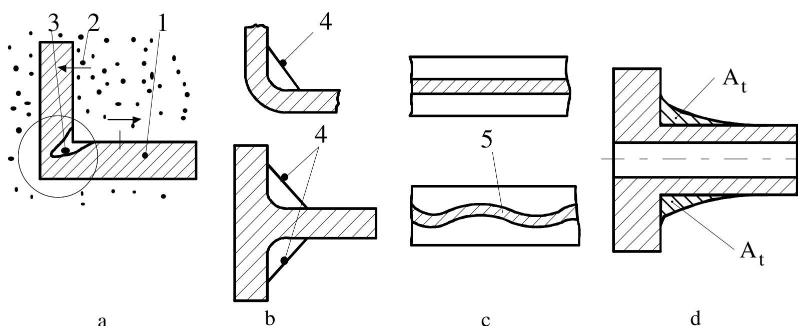


Fig. 3.142. Apariţia crăpăturilor şi prevenirea apariţiei lor:
a - apariţia unei crăpături la cald; b, c, d - măsuri constructive de prevenire a apariţiei crăpăturilor;

1 - contracția pieselor; 2 - limitarea contracției de peretele formei; 3 - crăpătura; 4 - nervuri; 5 - pereți curbi; A_t - adaosuri tehnologice.

Deoarece contracția piesei 1 este împiedicată de către peretele formei 2, apare crăpătura 3, în zona de maximă solicitare.

Prevenirea apariției crăpăturilor se face folosind diferite măsuri constructive şi tehnologice, dintre care cele mai frecvente sunt:

- întărirea zonei periclitate cu nervuri de contracție (fig.3.142. b);
- înlocuirea pereților plani cu pereți curbi (fig.3.142. c);
- asigurarea unei compresibilități sporite formei şi miezurilor;
- rigidizarea piesei prin îngroşarea treptată a peretelui (fig.3.142. d);
- evitarea părților ,,ieşinde'' amplasate la distanță mare etc.

3.13.3. Defecte cauzate de fenomenul de segregare

Segregarea se manifestă atât la scara peretelui piesei, când se numeşte *segregație majoră,* cât şi la scara cristalelor, numită *segregație minoră*. Segregația minoră constă în diferențele de concentrație dintr-un anumit element şi apare în cursul unei faze în curs de solidificare. Aşa cum se vede în figura 3.143, la temperatura T_1, faza separată are concentrația c_1, la temperatura T_2, concentrația c_2 şi aşa mai departe. Astfel că, un cristal separat liber în masa lichidului va avea zona axială mai bogată în componentul *A,* iar zona marginală mai bogată în componentul *B*. Această repartizare neuniformă a componenților aliajelor în piesele turnate, ca urmare a procesului de segregare, exercită o influență defavorabilă asupra proprietăților funcționale şi tehnologice ale acestora.

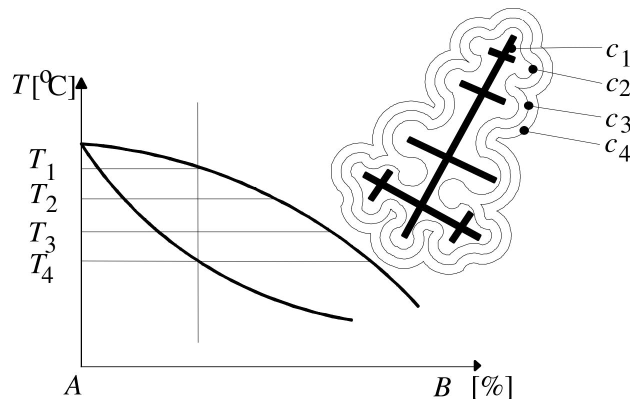


Fig. 3.143. Apariția segregației minore.

Fenomenul de segregare poate fi prevenit printr-o serie de măsuri

tehnologice cum ar fi: mărirea vitezei de răcire a piesei în forme metalice, modificarea compoziției aliajului, tratament termic de recoacere de omogenizare etc.

3.13.4. Defecte cauzate de pătrunderea gazelor în metalul sau aliajul lichid

Gazele din mediul înconjurător sau rezultate în urma contactului dintre metalul sau aliajul lichid şi pereții reci ai formei pătrund în metalul sau aliajul lichid în curs de solidificare, formând sufluri, soluții solide, straturi de gaze adsorbite, porozități şi diferite combinații chimice. Cele mai răspândite defecte ale pieselor turnate sunt *incluziunile de gaze*. Gazele dizolvate pot provoca crăpături ce se prezintă sub forma a numeroase fisuri cu aspect de pete de culoare deschisă numite *fulgi.* Gazele care pot difuza în metalele şi aliajele lichide sunt: azotul, hidrogenul şi oxigenul. Aceste gaze prin dizolvare în metalul sau aliajul lichid formează *suflurile* - discontinuități în piese care scad rezistența materialului prin micşorarea secțiunii şi prin efectul lor de concentrare a eforturilor. Suflurile se datorează atât metalului turnat, cât şi formei. Principalele surse de pătrundere a gazelor datorate formei sunt:

- antrenarea aerului la curgerea metalului prin rețeaua de turnare;
- dislocarea de către metal a aerului din cavitatea formei;
- existența unor componenți, ai amestecului de formare, care produc gaze;
- umiditatea şi aerul din porii amestecului de formare.

Prevenirea apariției suflurilor se poate face prin adoptarea unor măsuri tehnologice corespunzătoare, care să elimine sursele de apariție a gazelor în metalul sau aliajul lichid care se toarnă.

3.14. CONTROLUL PIESELOR TURNATE

Tendința actuală în domeniul controlului calității produselor este accentuarea laturii preventive, previzionale şi active, în detrimentul celei constatative, pasive. Din această cauză, este important să se țină sub control procesul tehnologic.

Pentru controlul procesului tehnologic trebuie avut în vedere:

- controlul materiilor prime, prin: realizarea unei aprovizionări corespunză-toare, selectarea furnizorilor potențiali, stabilirea cu aceştia a unor contracte cu clauze ferme şi clare privind calitatea, metodele şi mijloacele de control, precum şi responsabilitățile;
- depozitarea şi manipularea, precum şi modalitatea de evidență a materiilor prime şi materialelor, care să fie organizate astfel încât să se excludă posibilitatea deprecierii acestora;
- să se prevadă încercări de laborator pentru loturile de materii prime,

materiale, precum şi pentru materialele elaborate în vederea turnării;

- să se ţină evidenţa şarjelor de materiale elaborate şi turnate, care să permită o identificare rapidă a condiţiilor în care a fost realizată piesa individuală;

- depozitarea, evidenţa manipularea şi verificarea SDV-urilor şi AMC-urilor, necesare în toate fazele procesului tehnologic, să se facă în acord cu prescripţiile existente;

- să se stabilească cu claritate competenţele, autorităţile şi responsabilităţile profesionale în ceea ce priveşte realizarea calităţii pe locuri de muncă şi echipe de lucre;

- să se stabilească puncte critice de control pe fluxul de fabricaţie, precum şi parametrii, metodele şi mijloacele adecvate de control;

- să se asigure o depozitare distinctă, identificarea clară şi evidenţa strictă a rebuturilor, pe categorii: remediabile, recuperabile şi nerecuperabile;

- periodic şi ori de câte ori este necesar să se analizeze problemele procesului tehnologic, luându-se măsuri operative de remediere a disfunctionalităţilor ivite;

- să se instituie folosirea unor înregistrări corepunzătoare ale calităţii.

Controlul final al pieselor turnate trebuie să utilizeze metode adecvate, în raport cu: materialul, mărimea, configuraţia şi importanţa piesei (de aici decurg, în parte şi tipul defectelor care trebuie depistate).

Pentru determinarea defectelor interne de turnare, se pot utiliza metode de control distructiv şi nedistructiv.

Metodele de control distructiv au astăzi o importanţă mai mult istorică. Ele sunt costisitoare, deoarece presupun distrugerea piesei analizate. Din această cauză, ele se folosesc mai ales în stadiul de omologare a tehnologiilor de turnare, precum şi atunci când se cercetează cauzele apariţiei defectelor de turnare.

Metodele de control nedistructiv permit aplicarea controlului integral (100% din lotul de piese realizate). Cele mai utilizate metode de control nedistructiv sunt:

- *controlul vizual* (CV) ce însoţeşte toate operaţiile de control. El trebuie efectuat după dezbaterea formei şi curăţirea piesei, în condiţii bune de iluminare. Uneori el poate fi facilitat de utilizarea unor endoscoape pentru zonele interioare greu accesibile, ca şi a lupelor şi microscoapelor cu care se pot pune în evidenţă anumite detalii. În ultimii ani, o dată cu dezvoltarea informaticii, au apărut dispozitive optoelectronice, care permit CV automat („vedere maşină”) cu o deosebită precizie. Se pot pune astfel în evidenţă defecte de tipul: abateri dimensionale şi de formă, (DT 1), defecte de suprafaţă (DT 2) şi altele;

- *controlul dimensional* (CD) poate pune în evidenţă defecte de tipul dimensiunilor şi formelor necorespunzătoare (DT 1) şi uneori şi defecte de suprafaţă (DT 2);

- *controlul prin cântărire* (CPC) poate pune în evidenţă defecte de tipul maselor necorespunzătoare (DT 1), golurilor (DT 4) sau incluziunilor nemetalice (DT 5);

- *controlul acustic* (CA) se face prin lovirea piesei suspendate liber, astfel încât se pot evidenţia acustic discontinuităţile de material, cum ar fi golurile (DT 4) şi fisurile (DT 3);

- *controlul la presiune hidraulică* (CPH) se aplică pieselor a căror etanşeitate este importantă (carcase şi corpuri de pompe, armături şi alte elemente hidraulice, recipienţi sub presiune, elemenţi de calorifer etc.). Se pot pune în evidenţă şi defecte de tipul neconcordanţei proprietăţilor mecanice (DT 72);

- *controlul cu lichide penetrante* (CLP) poate pune în evidenţa numai defectele deschise de tipul crăpăturilor şi fisurilor (DT 3), precum şi unele defecte de suprafaţă;

- *controlul cu pulberi magnetice* (CPM) poate pune în evidenţă discontinuităţile din materialul piesei, situate în apropierea suprafeţei prin care se face examinarea. Calitatea controlului depinde de rugozitatea suprafeţei controlate (R_a< 12,5 μm). Se pot detecta defecte de tipul: crăpăturilor (DT 3), golurilor (DT 4), incluziunilor (DT 5);

- *controlul cu ultrasunete* (CUS) poate pune, în mod obişnuit, în evidenţă defecte de tipul: fisurilor (DT 3), golurilor (DT 4), incluziunilor (DT 5), situate oriunde în masa piesei. Prin metode speciale se pot evidenţia şi defectele de structură (DT 6). În cazul metodelor de examinare prin contact este necesară prelucrarea prealabilă a suprafeţelor de contact pentru a se realiza un cuplaj acustic cât mai bun şi pentru a avea rezultate cât mai bune;

- *controlul prin emisie acustică* (CEA) necesită de asemenea prelucrarea prealabilă a suprafeţelor de contact, prin care se face examinarea, şi se pot pune în evidenţă defecte de tipul fisurilor (DT 3), golurilor (DT 4), incluziunilor (DT 5), situate oriunde în masa piesei;

Tabelul 3.33. *Aplicabilitatea controlului nedistructiv la piesele turnate*

Metoda de control nedistructiv	Tipul defectului						
	DT 1	DT 2	DT 3	DT 4	DT 5	DT 6	DT 7
CV	X	X	X	X	X		
CD	X	X					
CPC	X			X			
CA			X	X			
CPH		X	X	X			X
CLP		X	X				
CPM			X	X	X		

CUS			X	X	X	X	
CEA			X	X	X		
CT			X	X	X		
CRP	X	X	X	X	X	X	

- *controlul termografic* (CT) poate pune în evidență diverse discontinuități superficiale, precum: fisurile (DT 3), golurile (DT 4), incluziunile (DT 5). Față de metodele anterioare (CLP, CPM, CUS, CEA), nu este necesară prelucrarea suprafeței piesei brut turnate;

- *controlul cu radiații penetrante* (CRP) poate pune în evidență, prin metode uzuale, defecte de tipul: (DT 3), (DT 4), (DT 5), situate oriunde în masa piesei. Prin metode speciale se pot determina şi defecte de tipul: (DT 1), (DT 2), (DT 6).

Din tabelul 3.33 se observă că metodele de control nedistructiv sunt limitate în ceea ce priveşte determinarea defectelor de structură (DT 6) şi defectelor de compoziție (DT 7). În aceste cazuri se utilizează metode de control distructiv, aplicate pe piese de probă (epruvete).

3.15. REMANIEREA PIESELOR CU DEFECTE DE TURNARE

Procesele tehnologice de realizare a pieselor prin turnare sunt deosebit de complexe. Ele depind de o multitudine de factori care acționează simultan, ai căror parametri sunt greu de controlat în timp real şi, din această cauză, în mod obişnuit în secțiile de turnare rezultă încă piese neconforme cu specificațiile tehnice. În aceste condiții concrete, se impune îndeosebi perfecționarea procedeelor şi a tehnologiilor de turnare, supravegherea şi stăpânirea proceselor de fabricație, dar şi tratarea pieselor neconforme în vederea repunerii lor în circuitul productiv.

Remanierea pieselor cu defecte de turnare este o operație distinctă, inclusă în fluxul de fabricație după dezbaterea formelor şi extragerea pieselor. Ea poate precede sau nu tratamentele aplicate pieselor brut turnate. Înaintea remanierii trebuie făcut un control al nivelului de calitate al piesei, pentru a se putea stabili modalitatea de remediere a defectelor care va fi adoptată.

Din punct de vedere economic, remanierea defectelor este o operație costisitoare, care se realizează manual, în regim de piese unicat. De aceea se justifică atunci când costul rebutării piesei depăşeşte notabil costul remedierii.

În raport cu tipul defectului de turnare constatat, se alege tehnologia de remaniere corespunzătoare.

Ca *procedee de remaniere* se pot folosi:

- procedeele mecanice: prelucrările prin aşchiere; dăltuirea; îndreptarea; ştemuirea;ştiftuirea; bucşarea; placarea; împănarea etc.;

- procedeele metalurgice: metalizarea; lipirea; sudarea; turnarea prin topire alumino–termică; retopirea sub strat de zgură; supraturnarea; tratamentele termice;

- procedeele chimice: impregnarea; chituirea.

Procedeele de remaniere prezentate se pot aplica atât pieselor noi, după realizarea lor prin turnare, cât şi pieselor uzate sau avariate în urma funcţionării.

Prelucrările prin aşchiere se utilizează pentru eliminarea defectelor de suprafaţă, a celor superficiale şi a deformatiilor, atunci când acestea sunt situate în limitele adaosului de prelucrare. Cele mai utilizate procedee de prelucrare prin aşchiere sunt:

- *polizarea* - pentru separarea maselotelor şi a reţelei de turnare, precum şi pentru curăţirea suprafeţelor. Se pot folosi polizoare fixe - pentru piesele mici, şi polizoare portabile manuale sau pendulare - pentru piesele medii, mari şi grele;

- *frezarea* - în regim de degroşare;

- *rabotarea* - în regim de degroşare.

În funcţie de tipul suprafeţei, natura defectului şi rolul funcţional al suprafeţei pot fi alese şi alte procedee de prelucrare prin aşchiere care să confere precizia geometrică şi calitatea suprafeţei corespunzătoare.

Dăltuirea se utilizează pentru curăţirea pieselor, la îndepărtarea bavurilor, aderenţelor, arsurilor şi crustelor. Sunt folosite scule portabile, cu acţionare electrică sau pneumatică.

Îndreptarea se foloseşte în cazul pieselor cu deformaţii de încovoiere remanente. Deformaţii importante apar la piesele mari cu configuraţie complexă (batiuri, montanţi, traverse, carcase, plăci de fundaţie etc.).

Piesele din fontă cenuşie se îndreaptă întotdeauna la cald (750…800°C) prin încărcare statică. În cazul pieselor drepte, de tipul grinzilor, se poate face o încălzire locală cu arzătoare. În cazul pieselor din fontă se recomandă aplicarea sarcinii direct pe piesa aflată pe vatra mobilă a cuptorului de încălzire când piesa se va menţine minimum o oră sub încărcare, la 700…750°C (fig.3.144).

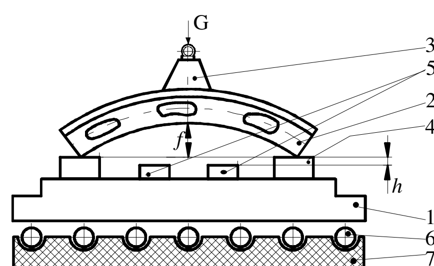


Fig. 3.144. Schema de îndreptare a unei traverse din fontă:
1 - vatra cuptorului de preîncălzire; 2 - piesa; 3 - sarcină statică; 4 - suporţi de capăt; 5 - suporţi

Piesele din oţel slab aliat cu conţinut ridicat de carbon se îndreaptă după o preîncălzire prealabilă (500...700°C). Îndreptarea se face cu ajutorul preselor hidraulice sau cu şurub care pot aplica sarcina treptat, cvasistatic.

În general, se va evita regimul dinamic de aplicare a sarcinii (ciocane de forjare, prese mecanice), care poate duce la la apariţia crăpăturilor în piesă.

de mijloc; 6 - rezistențe electrice; 7 - suportul rezistențelor; f - săgeata maximă; h – contra - săgeata la îndreptare.

Piesele de dimensiuni mici, din oțel sau aliaje neferoase, cu plas-
ticitate suficient de bună,se pot îndrepta pe prese manuale cu şurub.

În toate cazurile, se vor folosi dispozitive adecvate de aşezare a piesei şi trebuieobligatoriu să se țină seama de apariția deformațiilor elastice.

Ştemuirea constă în deformarea plastică locală a materialului piesei în zona defectului, în scopul creşterii etanşeității. Deformarea materialului se face prin presare sau lovire, perpendicular pe direcția defectului, astfel încât efectul deformării materialului să fie pe o adâncime de minimum 0,25...0,4 din grosimea peretelui piesei. Aplicarea procedeului este limitată la piesele care nu sunt solicitate la eforturi variabile.

Ştiftuirea constă în eliminarea defectelor punctuale (fig.3.145. a), de dimensiuni mici, prin găurire, urmată de montarea unor dopuri (ştifturi) sau bolțuri presate sau filetate, uneori asigurate prin lipire cu adezivi sau prin sudare (fig.3.145. b). Metoda se aplică îndeosebi la producția în regim de serie mică şi unicate. Nu se recomandă utilizarea metodei la piesele solicitate la presiuni importante, precum: cilindri hidraulici, corpuri de pompe, cilindri de motoare şi compresoare.

Bucşarea constă în reducerea efectelor unor defecte superficiale situate în jurul unor suprafețe cilindrice interioare sau exterioare, prin prelucrarea mecanică a suprafeței piesei şi montarea prin presare a unei bucşe (fig.3.146). Prin bucşare se poate creşte etanşeitatea, rezistența mecanică şi rezistența la coroziune.

Placarea constă în înlocuirea locală a porțiunilor cu defecte superficiale, prin montarea unor plăci de formă semirotundă, rotundă sau dreptunghiulară şi fixarea acestora cu şuruburi, ştifturi sau prin sudare (fig.3.147). Metoda se aplică pieselor mari şi grele, în producția de serie mică şi unicate. În prealabil este necesară prelucrarea mecanică a porțiunii în care se va monta placa.

Împănarea (*metoda metallock*) constă în remanierea fisurilor prin montarea, perpendicular pe axa defectului, a unor pene de construcție specială (fig.3.148), care au rolul de a ancora cele două margini ale crăpăturii, împiedicând ruperea în continuare a piesei. Prin aceasta metodă se asigură mărirea rezitenței mecanice a piesei în zona defectului. Se aplică pieselor mari şi grele.

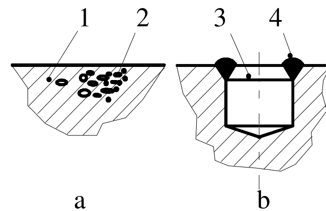


Fig. 3.145. Remanierea prin ştiftuire:
a - tipul defectului; b - găurirea şi introducerea ştiftului; 1 - piesa; 2 - defectul superficial; 3 - ştiftul montat; 4 - puncte de sudură pentru asigurarea ştiftului.

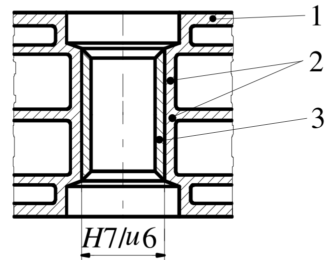


Fig. 3.146. Remanierea prin bucşare:
1 - piesa; 2 - zona cu defecte superficiale; 3 - bucşa montată prin strângere.

Metalizarea prin pulverizare constă în acoperirea suprafeţelor de remediat cu un strat metalic (poate fi de aceeaşi natură cu cel de bază sau diferit) la rece. Procedeul se aplică în cazul remedierii defectelor de formă (DT 1) şi de suprafaţă (DT 2). Pentru asigurarea aderenţei stratului de acoperire, trebuie realizate condiţii de ancorare mecanică a stratului în zona de remediat.

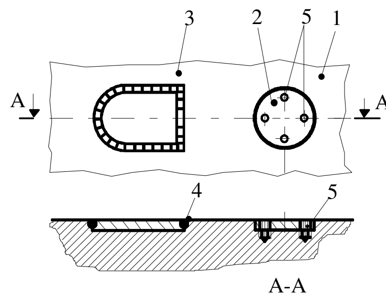


Fig. 3.147. Remanierea prin placare:
1 - zona piesei cu defecte superficiale; 2 - placă rotundă; 3 - placă semirotundă; 4 - cordon de sudură; 5 - şuruburi.

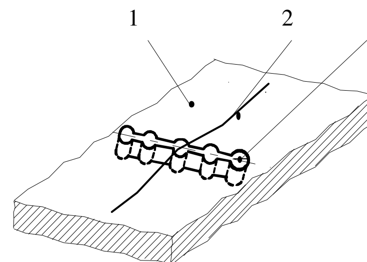


Fig. 3.148. Remanierea prin împănare:
1 - zona piesei cu defecte superficiale; 2 - fisură; 3 - pană *metallock* montată.

Lipirea constă în îmbinarea nedemontabilă a mai multor piese cu structură identică sau diferită, aflate în stare solidă, cu ajutorul unui material (aliaj sau adeziv) aflat în stare lichidă în momentul realizării îmbinării. Procedeul de lipire tare (brazarea), folosind aliaje cu temperatura de topire mai mare de 450°C, se recomandă a fi utilizat la remedierea defectelor pieselor din fontă greu sudabilă.

Sudarea este cea mai răspândită modalitate de remaniere a defectelor pieselor turnate. Prin sudare se pot repara o mare parte dintre defectele de turnare, cum ar fi: formele şi dimensiunile necorespunzătoare (DT 1), crăpăturile (DT 3), golurile din masa piesei (DT 4), incluziunile (DT 5). Sunt utilizate cu precădere următoarele procedee de sudare: sudarea manuală cu arc electric cu electrozi

înveliți; sudarea automată sub strat de flux; sudarea semiautomată cu electrod tubular; sudarea în mediu protector de gaze (MIG, WIG, MAG); sudarea cu plasmă; sudarea cu flacără de gaze.

Pregătirea zonei în care urmează să se facă remedierea defectului constă în îndepărtarea impurităților şi a straturilor care conțin defecte, până la atingerea unui strat de material de bază curat. Zona trebuie să fie uşor accesibilă, iar la grosimi mari de pereți se face o prelucrare mecanică a rosturilor. Curățirea se poate face prin aşchiere pe maşini unelte - la piesele a căror configurație o permite şi când se dispune de maşini-unelte suficient de mari, prin polizare şi dăltuire cu scule portabile - în locurile greu accesibile şi la piesele mari şi grele. La piesele din oțel se poate face şi curățirea la cald, prin tăiere cu flacără.

Poziția de sudare se recomandă a fi cea orizontală.

La sudarea pieselor din fontă trebuie luate măsuri de precauție speciale, ținând seama de sudabilitatea limitată a fontelor, precum şi de: structura neuniformă a materialului (datorată incluziunilor de grafit); duritatea neuniformă (în funcție de vitezele diferite de răcire la solidificare); susceptibilitatea mare la fisurare favorizată de prezența băii de sudare.

Sudarea pieselor din fontă se poate face:

- la cald, cu preîncălzirea piesei, cu material de adaos similar celui de bază;
- la rece, cu material de adaos diferit de cel de bază.

Preîncălzirea pieselor se face la 550…650°C în cuptoare speciale, prevăzute cu un capac din segmente, astfel încât să se poată deschide ferestre deasupra zonelor în care se face remedierea defectului. Încălzirea se face prin convecție de la arzătoare cu gaz natural. Piesa se aşează în cuptorul de preîncălzire rezemată pe perne din argilă şi nisip, astfel încât să se asigure planeitatea şi să se evite deformarea piesei sub propria greutate. Ciclul termic trebuie să respecte diagrama din figura 3.149.

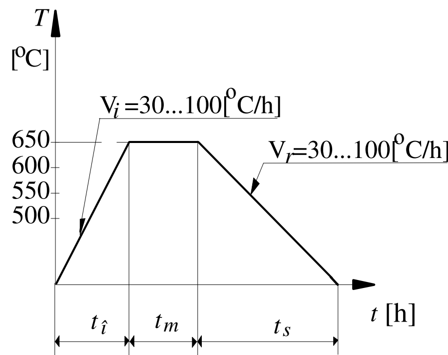


Fig. 3.149. Diagrama de preîncălzire:
$t_î$ - timp de încălzire; t_m - durata menținerii;
t_s - timp de solidificare.

În cazul pieselor din fontă, cu grafit lamelar şi nodular, încălzirea zonei cu defecte se face de la 650 la 850°C. Pe durata sudării se va supraveghea temperatura, astfel încât aceasta să nu scadă sub 700°C. La grosimi de perețimai mici de 20 mm se poate face sudarea cu flacără oxiacetilenică neutră sau uşor carburantă.

La grosimi mai mari de 20 mm sudarea se face numai cu arc electric, în

curent continuu, cu polaritate inversă. În cazul defectelor de dimensiuni mari, se poate face sudarea cu electrod de grafit şi vergea de fontă ca material de adaos. Pentru a preveni încălzirea exagerată a băii metalice, se poate adăuga şpan de fontă.

Remanierea la rece se face cu electrozi de Ni, Ni-Cu sau ferito-perlitici. Se preferă sudarea cu arc electric datorită concentrării mai mari a căldurii faţă de sudarea cu flacără. Piesa se va încălzi cât mai puţin posibil, pentru a nu rezulta zone călite, uşor fisurabile, şi în acest scop se realizează porţiuni scurte de cordon de 20…30 mm. În zona defectului se face prelucrarea mecanică a marginilor fisurii, realizându-se un rost în „V”. Flancurile rostului pot fi ancorate uneori cu ştifturi filetate din materialul de adaos, montate în materialul de bază. Sudarea se va face în acest caz pe capetele acestor ştifturi, care ies cu 1,5...2 mm în afara suprafeţei flancului. Găurile filetate se execută intercalat, de lungimi diferite, pentru

a nu rezulta secțiuni slabe. Ştifturile se montează cât mai departe de rădăcina cusăturii sudate (fig.3.150).

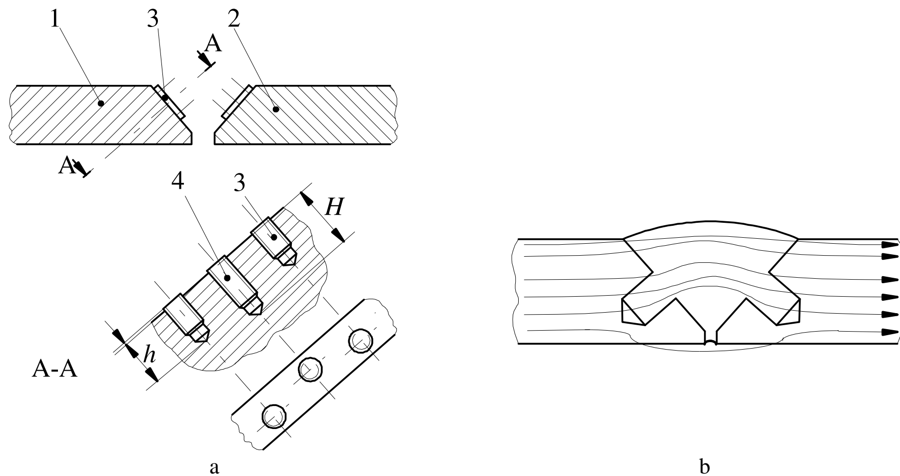


Fig. 3.150. Sudarea la rece a fontei cenușii:
a - pregătirea rostului şi poziția ştifturilor; b - sudura obținută şi transmiterea eforturilor;
1, 2 - marginile prelucrate ale fisurii; 3 - ştift scurt de lungime *h*; 4 - ştift lung de lungime *H*.

Remanierea defectelor de turnare prin sudare este facilitată în cazul pieselor din oțel de sudabilitatea mult mai bună a materialului. Se poate remarca aici efectul compensatoriu al proprietăților tehnologice de turnabilitate/sudabilitate în cazul
fontelor şi a oțelurilor: o turnabilitate mai bună a fontelor (număr redus de piese cu defecte de turnare) este asociată unei sudabilități mai slabe (dificultate mai mare de remediere a defectelor prin sudare) şi invers pentru oțeluri (o turnabilitate mai slabă, dar o sudabilitate mai bună).

Piesele din oțeluri carbon cu conținut redus de carbon (< 0,25%) se pot suda la rece. Cele din oțel cu conținut mediu (0,25...0,45%) se preîncălzesc la 150…200°C, iar cele cu conținut ridicat de carbon (>4,5%) se preîncălzesc la 350…400°C, pentru a se evita apariția zonelor dure şi fragile, susceptibile la fisurare, în zona influențată termic.

Temperatura de preîncălzire T_p se poate calcula cu următoarea relație determinată experimental:

$$T_p = 350 \cdot \sqrt{C_{et} - 0{,}25} \quad [°C] \quad , \tag{3.51}$$

unde C_{et} este carbonul echivant total, care se determină cu relația

$$C_{et} = C_{ce} + C_{eg}\ , \qquad (3.52)$$

în care C_{ce} este carbonul chimic echivalent calculat cu relația

$$C_{ce} = \frac{360 \cdot C + 40 \cdot (Mn + Cr) + 20 \cdot Ni + 28 \cdot Mo}{360}, \qquad (3.53)$$

iar C_{eg} este carbonul echivalent de grosime, de forma

$$C_{eg} = 0{,}005 \times e \times C_{ce}, \qquad (3.54)$$

unde *e* este grosimea peretelui piesei în zona de sudare.

La remedierea prin sudare a pieselor din oțel este important să se aibă în vedere următoarele:

- la piesele din oțeluri cu conținut mare de carbon se vor depune straturi tampon, pentru a se evita autocălirea;
- arcul electric se va amorsa în prealabil pe o piesă de probă, pentru a se regla lungimea;
- după depunerea primului cordon de sudură, electrodul se va înclina spre stratul deja depus, astfel încât acesta să fie acoperit cel puțin 1/3 din lungime;
- contracțiile de răcire ale cordoanelor vor fi detensionate prin ciocănire, pe măsura depunerii.

Remedierea prin sudare a pieselor din *bronz* se poate face în bune condiții când nu conțin Zn şi Pb. De asemenea, greu sudabile sunt şi bronzurile pe bază de Al. Bronzurile se pot suda în stare preîncălzită, la 500...600°C, pentru a se reduce tendința de fisurare.

Sudarea pieselor din bronz se poate face cu flacără oxiacetilenică sau cu arc electric prin procedeul WIG.

Remedierea prin sudare a pieselor din *aliaje de Al* se face prin procedeul WIG, cu electrozi din material similar celui de bază. La piesele medii şi mari se recomandă preâncălzirea lor la 350...450°C pentru a reduce tendința de deformare.

Turnarea cu topire alumino-termică se foloseşte la piesele mari şi grele din oțel. Înainte de turnare piesele trebuie preîncălzite local la 700...1 000°C. Tehnica de turnare constă în închiderea zonei de lucru cu o formă din amestec refractar, lăsând deschisă o maselotă la partea superioară, prin care se face alimentarea cu aliaj topit dintr-un creuzet special, montat deasupra formei. Umplerea formei este completă când prin orificiul de preaplin ies topitura şi zgura, care se scurg în afara formei (fig.3.151).

Datorită temperaturii ridicate a topiturii se realizează topirea instantanee a marginilor defectului, rezultând o sudare compactă.

Retopirea sub strat de zgură se aplică la piesele din oțel de secțiuni mari, la repararea defectelor de tip crăpături şi rupturi. Procedeul este similar turnării prin topire sub strat de zgură, descrisă în subcapitolul 3.10.9.

Supraturnarea este una dintre cele mai vechi metode de remediere a defectelor de tip DT 1 (umplere necorespunzătoare a formelor de turnare). Ea constă în turnarea aliajului (identic cu materialul de bază) supraîncălzit peste zona defectului, piesa fiind introdusă într-o formă specială de turnare. La contactul cu topitura are loc o topire locală a materialului de bază, suficientă pentru a se realiza o îmbinare compactă între masa piesei şi partea completată prin supraturnare, aflată în curs de solidificare.

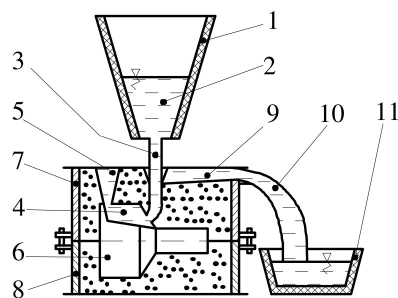


Fig. 3.151. Turnarea cu topire alumino-termică: 1 - creuzet; 2 - aliajul topit; 3 - jetul de topitură; 4 - defect (gol în piesă); 5 - maselotă; 6 - piesa; 7 - semiforma superioară; 8 - semiforma inferioară; 9 - jgeab de evacuare a zgurei; 10 - jetul de aliaj şi zgură; 11 - colector de zgură.

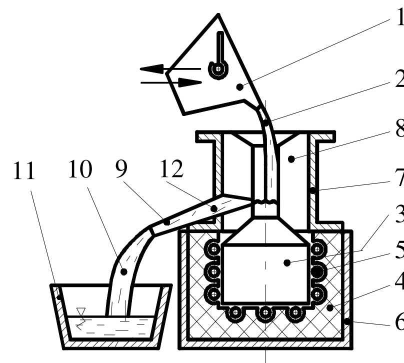


Fig. 3.152. Remanierea prin supraturnare: 1 - oala de turnare; 2 - jetul de aliaj topit; 3 - piesa; 4 - cuptor de preîncălzire; 5 - rezistențe; 6 - manta; 7 - rama de formare; 8 - forma de turnare; 9 - jgheab; 10 - jet de aliaj topit evacuat din formă; 11 - lingotieră; 12 - orificiu de evacuare.

În figura 3.152 este prezentat un exemplu de reparare a unei piese prin supraturnare. Piesa defectă 3 este introdusă în cuptorul de preîncălzire 4; peste cuptor se montează rama capac 7, în interiorul căreia se realizează forma de turnare 8, în care se prevede jgheabul de evacuare 9, montat în dreptul orificiului 12. Turnarea se face din oala de turnare 1. La inițierea turnării, orificiul 12 este deschis, iar oala de turnare este deplasată în jurul orificiului pâlniei de alimentare a formei, astfel încât să se producă curgerea jetului de aliaj topit 2, peste întreaga secțiune a defectului, în scopul topirii stratului superficial al piesei. Surplusul de material lichid este evacuat prin orificiul 12 şi jgheabul 9, în lingotiera 11, sub forma jetului 10. După ce s-a realizat topirea stratului superficial, se închide orificiul de evacuare 12 şi se face umplerea formei 8.

Această metodă se aplică în cazul pieselor grele, de configurație relativ simplă.

Tratamentele termice sunt utilizate pentru remedierea defectelor de suprafață (DT 2), defectelor de structură (DT 6) şi pentru îmbunătățirea

proprietăților fizico-chimice (DT 7).

Impregnarea constă în umplerea golurilor (DT 4) şi a defectelor deschise (DT 2) de mici dimensiuni cu soluții speciale, care prin reacții chimice se întăresc compactând peretele piesei. Metoda se foloseste în scopul creşterii etanşeității, dar ea nu dă rezultate în cazul suflurilor, retasurilor şi crăpăturilor vizibile cu ochiul liber.

În cazul pieselor din oțel şi fontă se folosesc soluții oxidante, care acționează prin corodarea locală a peretelui piesei, cum sunt: apa, silicatul de sodiu

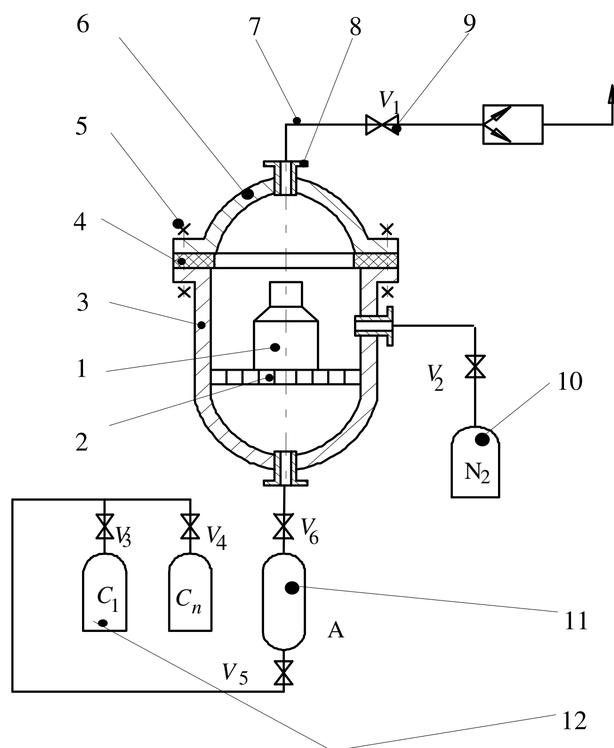


Fig. 3.153. Instalație de impregnare:
1 - piesa; 2 - grătar suport; 3 - autoclavă; 4 - etanşare; 5 - dispozitiv de închidere; 6 - capac; 7 - instalație de vidare; 8 - flanşă racord; 9 - ventile V_{1-6}; 10 - butelie de azot (atmosfera de lucru); 11 - amestecător; 12 - rezervoare cu componente C_{1-n}.

10%, clorura de amoniu 5%, clorura feroasă, azotatul de sodiu, miniumul de fier în soluție apoasă.

În cazul pieselor din aliaje neferoase se utilizează impregnarea cu lac de

bachelită sau cu răşini epoxidice.

Impregnarea se poate face la presiune atmosferică sau la suprapresiune (2...10 bar), în mediu gazos controlat. În vederea impregnării piesele trebuie curățate şi degresate. O importanță deosebită o are eliminarea vaporilor de apă din interiorul defectelor, de aceea se face vidarea incintei de lucru. Impregnarea se poate face cu răşini sintetice (novolac), sticlă solubilă, soluții pe bază de bentonită de turnătorie etc.

În figura 3.153 este prezentată schema de principiu a unei instalații de impregnare pentru corpuri de elemente hidraulice (pompe, supape, distribuitoare, racorduri, robinete).

Chituirea constă în astuparea defectelor deschise cu o pastă specială, care în urma unor reacții chimice se întăreşte, făcând aderență cu materialul de bază. Există o gamă dezvoltată de chituri, cu destinații precise, astfel:

- chituri CWM (Coldweld), pentru remanierea fisurilor (DT 3);
- chituri epoxidice, pentru repararea defectelor de suprafață (DT 2), a golurilor deschise de mici dimensiuni (2cm^2, adâncime maximum 2/3 din grosimea peretelui DT 4);

Tabelul 3.34. *Aplicabilitatea metodelor de remaniere*

Metoda de remaniere	Tipul defectului						
	DT 1	DT 2	DT 3	DT 4	DT 5	DT 6	DT 7
Achiere		X		X			
Dăltuire	X	X					
Îndreptare	X						
Ştemuire		X		X			
Ştiftuire		X		X	X		
Bucşare		X		X	X		
Placare	X	X		X	X		
Împănare			X				
Metalizare	X	X					
Lipire			X	X			
Sudare	X		X	X	X		
Turnare alumino–termică	X		X				
Retopire în baie de zgură	X		X	X	X	X	X
Supraturnare	X		X	X			
Tratamente termice						X	X
Impregnare		X		X			
Chituire		X	X	X			

- chituri cu liant mineral, pentru repararea defectelor de suprafață neimportante (DT 2);

- chituri cu asfalt, pentru repararea defectelor de suprafaţă (DT 2) la piesele care lucrează în medii corozive.

Aplicabilitatea metodelor de remaniere se prezintă în tabelul 3.34.

Chituirea necesită pregătirea zonei de lucru prin curăţirea de oxizi, incluziuni, grăsimi, apă. Umplerea cavităţilor se face de la margini spre interior astfel încât să se elimine aerul din interiorul defectului.

3.16. TENDINŢE ŞI PERSPECTIVE ÎN OBŢINEREA SEMIFABRICATELOR PRIN TURNARE

Ca factori globali de progres tehnologic, în etapa actuală de dezvoltare a societăţii şi în perspectiva mileniului următor, se pot enunţa:

- inovarea, privită tot mai mult ca factor determinant al cuceririi şi menţinerii competitivităţii pe piaţa mondială;

- nivelul de educare şi de calificare a forţei de muncă, inclusiv dezvoltarea de programe comune pentru integrarea învăţământului cu cercetarea ştiinţifică fundamentală şi aplicativă, precum şi parteneriatul dintre învăţământ şi industrie în formarea şi perfecţionarea personalului;

- atingerea excelenţei în fabricaţie, atât prin creşterea atenţiei date nivelului calitativ al propriilor produse pe piaţă, cât şi prin eficientizarea şi dinamizarea tuturor activităţilor firmei;

- tehnologiile informaţionale, aplicate în:

- optimizarea complexă a proceselor de producţie, din punctul de vedere al termenelor de execuţie, calităţii şi costurilor;

- creşterea modului de valorificare a potenţialelor disponibile (managementului de proiect, a proceselor, produselor, organizării, resurselor, culturii organizaţiei etc);

- promovarea ingineriei concurenţiale, simultane, ca metodă uzuală de lucru;

- stimularea întreprinderilor mici şi mijlocii, prin crearea şi punerea la dispoziţia acestora de instrumente informatice adecvate, care să le permită creşterea flexibilităţii şi a capacităţii totale de răspuns pe piaţă;

- armonizarea fabricaţiei cu normele de protecţie a mediului prin stabilirea unor forme durabile de colaborare între producătorii concurenţi privind fabricaţia curată.

Aceste imperative ale orientării globale determină următoarele tendinţe de dezvoltare în domeniul procedeelor de turnare:

- inovarea în turnare presupune dezvoltarea de noi procedee tehnologice de turnare, depăşindu-se graniţele care există tradiţional între diversele ramuri ale

industriei, care posedă tehnici diferite de obținere a pieselor şi a semifabricatelor; utilizarea pe scară largă a unor noi materiale, cu proprietăți deosebite, rezultate în urma cooperării interdisciplinare internaționale; aplicarea procedeelor de turnare şi pentru piese care în mod obişnuit se produc prin alte tehnici, mult mai costisitoare;

- importanța calificării rezultă din aplicarea unor noi procedee de turnare, care conduc la obținerea de precizii dimensionale ridicate, de calități superioare ale suprafețelor, de structuri anizotropice dirijate care implică noi competențe pentru operatori, conducători, proiectanți şi cercetători;

- asigurarea nivelului de excelență, presupune, pe de o parte, realizarea unor produse care să fie cerute de piață, competitive, cu un raport avantajos calitate/preț, iar, pe de altă parte, punerea la punct a sistemului managerial al firmei, în ceea ce priveşte: selectarea furnizorilor, supravegherea proceselor, elaborarea, implemen-tarea şi revizuirea procedurilor de lucru, urmărirea costurilor, stabilirea acțiunilor corective. Toate acestea au drept scop: prevenirea apariției neconformităților, eficientizarea şi rentabilizarea firmei pe termen lung, mobilizarea şi dezvoltarea tuturor resurselor şi potentialelor;

- informatica în turnare presupune luarea în discuție a cel puțin două aspecte:

- concepția globală (produsul, procedeul, tehnologia);

- execuția (controlul procesului, gestiunea calității);

- întreprinderile mici şi mijlocii implică crearea de firme specializate în domeniul realizării pieselor turnate, grupate după: destinație, materiale turnate, gabarit etc., care pot colabora cu birouri de proiectare externe;

- fabricația curată presupune renunțarea la procedeele poluante, introducerea ca factor de optimizare a fabricației curate, reducerea pierderilor tehnologice, utilizarea de materiale regenerabile etc.

3.17. NORME SPECIFICE DE PROTECTIA MUNCII

În spațiile destinate operațiilor de modelare, formare, turnare, răcire, dezbatere şi curățare a pieselor, există potențiale surse de pericol, care trebuie eliminate prin măsuri adecvate. Câteva observații generale:

- iluminatul trebuie să permită evitarea accidentelor, prin marcarea zonelor cu risc deosebit (să nu se reducă drastic iluminatul pe motiv că nu se execută operații de precizie);

- ventilația şi încălzirea halelor trebuie să fie corespunzătoare (astfel încât să nu se întrerupă ventilarea halelor pe motivul menținerii căldurii);

- zonele de lucru pentru utilajele de formare şi mijloacele de transport uzinal trebuie să fie asigurate;

- ori de câte ori nu se poate limita suficient de mult pericolul, trebuie să se

asigure echipament de protecție individuală.

În atelierele de *modelărie*, unde se lucrează cu lemn ca material de bază, trebuie să se aibă în vedere:

- eliminarea pericolului de incendii, datorate aprinderii deşeurilor de lemn, prafului de rumeguş, vaporilor de adezivi, vopsele sau solvenți;
- eliminarea pericolului accidentării prin tăiere la fierăstraiele cu bandă sau disc;
- ventilarea corespunzătoare a spațiilor de lucru, în scopul reducerii prafului şi a vaporilor toxici.

În atelierele de *formare*, unde se lucrează cu amestecuri de nisip, ciment, argilă, vopsele, chituri, cu utilaje de format mecanizat, cu mijloace de transport uzinal trebuie respectate:

- ventilarea corespunzătoare, în scopul evacuării prafului şi a vaporilor toxici, a reducerii riscului îmbolnăvirii de silicoză;
- organizarea judicioasă a depozitării, dozării şi manipulării amestecurilor, ramelor şi formelor, urmărindu-se: reducerea prafului, a zgomotului şi vibrațiilor, a riscului de accidentare la manipularea ramelor şi a formelor, precum şi la utilajele de formare;
- prevenirea incendiilor la uscarea formelor;
- iluminarea corespunzătoare a spațiilor de lucru.

În atelierele de *turnare,* unde se lucrează cu topituri metalice, cu forme de turnare, cu mijloace de transport uzinal, trebuie să se aibă în vedere:

- evitarea accidentelor la transportul şi manipularea topiturii şi la umplerea formelor;
- reducerea riscului de accidente cauzate de piesele calde sau aflate în curs de solidificare;
- marcarea ariilor de lucru;
- iluminarea corespunzătoare a spațiilor de lucru.

În zonele de *dezbatere a formelor* se urmăresc următoarele:

- reducerea zgomotului şi a vibrațiilor;
- reducerea prafului;
- evitarea accidentelor la manipularea formelor, ramelor şi a pieselor.

În zonele de *curățare a pieselor* se au în vedere:

- reducerea zgomotului şi a vibrațiilor;
- reducerea prafului;
- evitarea accidentelor la manipularea pieselor şi a deşeurilor.



OBȚINEREA PIESELOR PRIN DEFORMARE PLASTICĂ

5.1. INTRODUCERE

Prelucrarea materialelor metalice prin deformare plastică se bazează pe proprietatea de *plasticitate* a metalelor, adică pe capacitatea acestora de a căpăta deformații permanente sub acțiunea unor forțe exterioare.

Prelucrarea metalelor prin deformare plastică (prin lovire) este cunoscută şi folosită de către omenire cu peste 3 000...3 500 ani î.Hr., adică înainte de a se fi cunoscut metodele de obținere a metalelor şi aliajelor prin topire. Acest lucru este explicabil deoarece la început omul a găsit fierul în stare naturală, provenit din meteoriți, pe care l-a prelucrat prin lovire, modelând cele mai vechi obiecte de cult şi arme din fier.

Prelucrarea prin deformare plastică a metalialelor şi aliajelor a constituit din cele mai vechi timpuri, nu numai un meşteşug, ci şi o adevărată artă (de exemplu, coloana metalică de lângă Delhi, India, de pe vremea dinastiei Gunt, secolul VI..IV î.Hr., are forma unui trunchi de con, gol la mijloc, cu înălțimea de 18m şi greutatea de 6,5t şi nu de 18t cât ar fi avut dacă ar fi fost obținută prin turnare fără gol interior).

Deformarea plastică a metalelor şi aliajelor începe să se dezvolte şi să se perfecționeze continuu în pas cu progresul tehnic, fiind dependentă în primul rând de sculele şi utilajele folosite la deformare. Evoluția acestora de la primele ciocane mecanice acționate de apă (secolul XIV) la cele cu comandă numerică şi a preselor, de la presele cu fricțiune la presele hidraulice cu puteri de peste 100 000 MN,

conduce la o utilizare cât mai accentuată a tehnologiilor de prelucrare prin deformare plastică. Utilizarea din ce în ce mai largă a deformării plastice ca metodă ethnologic de obținere a pieselor este şi rezultatul avantajelor pe care acesta le prezintă în comparație cu celelalte metode de prelucare, astfel:

- realizează însemnate economii de material, deoarece prin această metodă se obține configurația geometrică a piesei, corespunzătoare cu rolul funcțional, prin redistribuirea volumelor de material şi nu prin îndepărtarea acestuia sub formă de aşchii sau microaşchii;

- permite realizarea unor piese cu configurație de la cea mai simplă până la cea mai complexă, cu greutăți variind de la câteva grame până la câteva sute de tone şi cu dimensiuni de gabarit de la câțiva milimetri până la zeci de metri, unele greu sau aproape imposibil de realizat prin alte procedee;

- permite obținerea de piese cu proprietăți funcționale diferite şi îmbunătățite pe secțiune, în funcție de cum s-a realizat deplasarea volumelor de material ca urmare a deformării plastice, proprietăți ce conferă o comportare în exploatare mult mai bună decât a pieselor obținute prin celelalte metode de prelucrare (turnare, aşchiere, sudare etc.);

- productivitatea ridicată datorită executării prelucrării cu posibilități largi de mecanizare şi automatizare, cât şi datorită obținerii unor produse de configurație simplă sau complexă, cu aceeiaşi secțiune, pe lungimi foarte mari;

- realizează la un preț foarte scăzut toată gama de semifabricate inițiale pentru celelalte metode de prelucrare (turnare, sudare, aşchiere etc.), cum ar fi: barele, tablele, profilele simple sau complexe, benzile, bilele, țevile, sârmele etc.;

- precizia dimensională a pieselor prelucrate poate fi, după necesitate, foarte ridicată, piesele obținute fiind interschimbabile şi adesea rezultând cu dimensiunile finale chiar şi pentru cazul utilizării lor în industrii care necesită o precizie foarte ridicată (mecanică fină, electrotehnică, electronică etc.);

- realizează însemnate economii de manoperă, deoarece în majoritatea cazurilor foloseşte utilaje complet mecanizate şi automatizate cu tendințe sporite de informatizare şi chiar robotizare.

Toate aceste avantaje precum şi tendințele actuale de obținere a unor piese finite cât mai rapid, din materiale cu proprietăți dintre cele mai diferite şi fără prelucrări prin îndepărtarea de material sub formă de deşeuri, fac din prelucrarea prin deformare plastică una din cele mai des şi mai larg utilizate metode de prelucrare (la unele echipamente tehnologice ponderea pieselor componente obținute prin deformare plastică poate depăşi 60…70%). Există chiar indicatori sintetici ce definesc dezvoltarea economiei unei țări direct din această metodă de prelucrare: raportul dintre producția de piese realizate prin turnare şi deformare plastică; producția de piese realizate prin deformare plastică raportată la o mie de locuitori; raportul între producția de piese obținute prin deformare plastică şi producția de oțel etc.

Totuşi şi această metodă prezintă o serie de dezavantaje cauzate de necesi-

tatea unor forţe de prelucrare mari, şi anume:

- investiţii iniţiale mari, deoarece necesită utilaje complexe şi scumpe care trebuie să dezvolte forţe foarte mari;
- sculele utilizate sunt în general scumpe, de cele mai multe ori pentru fiecare categorie de piese obţinute prin deformare plastică fiind necesară o sculă specială, care nu mai poate fi utilizată la realizarea altor piese.

Având în vedere avantajele şi dezavantajele enumerate mai sus, prelucrarea prin deformare plastică trebuie aplicată atunci când în urma studiilor tehnico-economice se dovedeşte superioară în comparaţie cu alte variante tehnologice şi organizatorice de realizare a unei prelucrări.

5.2. MECANISMUL PRELUCRĂRII PRIN DEFORMARE PLASTICĂ

5.2.1. Comportarea la deformare a materialelor

Materialele existente în natură şi utilizate în tehnică se deosebesc între ele prin comoziţia chimică şi structură diferite şi respectiv prin proprietăţile tehnologice şi funcţionale diferite (vezi capitolul 2). Din punct de vedere al comportării la deformare a materialelor prezintă imortanţă proprietăţile lor elastice, plastice, vâscoase şi de rezistenţă. Aceste proprietăţi pot fi apreciate cunoscând curba tensiune-deformaţie specifică fiecărui material, curbă ce poate fi ridicată în

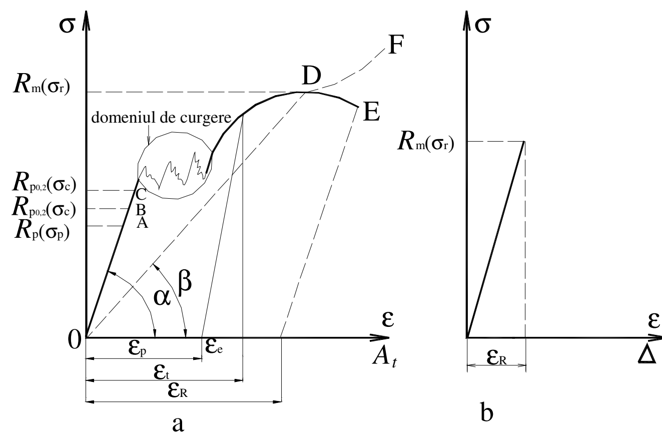


Fig. 5.1. Variaţia tensiunii σ cu deformaţia ε (alungirea Δ*l*) la:
a - materiale vâsco-plastice; b – la materialele rigide; $R_p(\sigma_r)$ – tensiunea de proporţionalitate; $R_{o\,0,02}(\sigma_e)$ – tensiunea de elasticitate; $R_{p\,0,2}(\sigma_c)$ – tensiunea de curgere; $R_m(\sigma_r)$ – rezistenţa la rupere; ε_e – deformaţia elastică; ε_p – deformaţia plastică; ε_t – deformaţia totală; ε_R – deformaţia la rupere; A_t – alungirea totală.

urma încercării la tracțiune a unei epruvete (fig.2.46) având forma prezentată în figura 5.1.

Proprietățile elastice sunt caracterizate prin modulul de elasticitate E şi gradul de deformare elastic ε_e date de relațiile:

$$E = \text{tg}\alpha;$$

$$\varepsilon_e = \frac{L_c - L_0}{L_0} \cdot 100 \ [\%] \qquad (5.1)$$

în care: L_0 este lungimea inițială a epruvetei; L_c – lungimea epruvetei la atingerea limitei de curgere $R_{p0,2}$.

Proprietățile plastice sunt caracterizate prin modulul de plasticitate D, gradul de deformare plastică ε_p, alungirea la rupere A_5, gâtuirea la rupere Z, gâtuirea specifică Ψ şi altele date de relațiile:

$$D = \text{tg}\beta; \ \ \varepsilon_p = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 \ \ [\%]; \ \ A_5 = \frac{L_u}{L_0} \cdot 100\,[\%];$$

$$Z = \frac{S_o - S_u}{S_0} \cdot 100\,[\%]; \ \ \Psi = \frac{S_0 - S}{S_0} \cdot 100\,[\%] \qquad (5.2)$$

în care: L_u este lungimea epruvetei după ruperea la tracțiune; S_0, S, S_u – secțiunea inițială, în momentul curgerii şi respectiv după ruperea epruvetei.

Proprietățile vâscoase ale materialelor sunt definite prin viscozitatea materialelor metalice η (foarte greu), modulul de ecruisare D, coeficientul Poisson ν şi altele.

Proprietățile de rezistență sunt caracterizate prin rezistența la curgere $R_{p0,2}$ (care caracterizează începutul deformării permanente) şi rezistența la rupere R_m.

Sub acțiunea forțelor exterioare orice metal sau aliaj suferă atât deformații elastice ε_e, cât şi deformații plastice ε_p, astfel încât deforația totală ε_t este dată de relația:

$$\varepsilon_t = \varepsilon_e + \varepsilon_p. \qquad (5.3)$$

După încetarea acțiunii forțelor ce au efectuat deformarea, rămâne o deformație permanentă ε_P, formată la rândul ei din două componente: una rezultată din deformarea elastică $\varepsilon_{Pe} << \varepsilon_e$ şi una corespunzătoare deformației permanente propriu-zise ε_{Pp}, deci:

$$\varepsilon_P = \varepsilon_{Pe} + \varepsilon_P. \qquad (5.4)$$

În funcție de mărimea acestor deformații şi comportarea lor la deformare materialele se pot clasifica în următoarele categorii:

- *materiale elastice* – suportă deformații elastice mari ($\varepsilon_e \geq 0{,}6$) care dispar în totalitate după înlăturarea forțelor exterioare care le-au provocat, nu au structură cristalină şi deformațiile permanente sunt inexistente. În acest caz deformarea are loc prin deplasarea atomilor din pozițiile lor de echilibru stabil, la o valoare minimă a energiei lor potențiale, mărimea deplasării nedepăşind ordinul de mărime al distanței dintre atomi;

- *materiale plastice* – admit deformații permanente mari ($\varepsilon_{Pp} > 0{,}2...0{,}3\varepsilon_P$), au o structură cristalină, în timpul deformării suferă modificări în structura lor, din care cauză rezistența la deformare R_d creşte cu creşterea gradului de deformare şi nu este influențată de viteza de deformare şi de presiunea la deformare. Deformarea plastică se realizează prin deplasarea relativă a atomilor în poziții noi de echilibru la distanțe mult mai mari decât distanțele dintre atomii din rețeaua cristalină;

- *materiale vâscoase* – admit deformații permanente mari ($\varepsilon_{Pp} > 0{,}2...0{,}3\varepsilon_p$), au o structură amorfă, în timpul deformării nu au loc deformări structurale, din care cauză rezistența la deformare nu depinde de gradul de deformare, dar creşte cu viteza de deformare şi cu presiunea de deformare;

- *materiale rigide (fragile)* – se rup la valori mici ale deformațiilor permanente ($\varepsilon_t \leq 0{,}01$), au structură cristalină şi deformațiile elastice sunt inexistente (fig.5.1. b).

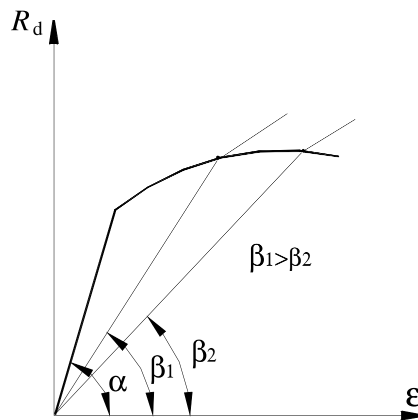


Fig. 5.2. Variația rezistenței la deformare R_d cu gradul de deformare ε pentru materialele elasto-plastico-vâscoase.

Metalele şi aliajele utilizate în tehnică nu sunt ideal elestice, ideal plastice sau ideal vâscoase, ele au şi proprietăți elastice şi proprietăți plastice şi proprietăți vâscoase, rezistența la deformare în acest caz având o variație cu gradul de deformare ca în figura 5.2. Ținând cont de aceasta materialele metalice pot fi: *elastico – fragile* (fonta, bronzul); *elastico – plastice* (oțelurile cu conținut scăzut

de carbon şi oțelurile slab aliate la temperatura ambiantă etc.); *plastico – vâscoase* (majoritatea oțelurilor şi aliajelor neferoase la temperaturi ridicate etc.) şi alte combinații.

5.2.2. Deformarea materialelor

Din punct de vedere macroscopic deformarea plastică se poate justifica prin existența în curba tensiune-deformație a unui domeniu numit *domeniul de curgere* (fig.5.1. a), iar din punct de vedere microscopic deformarea plastică se explică prin modificarea echilibrului dintre grăunții cristalini (deformarea intercristalină) sau din interiorul grăunților cristalini (deformarea intracristalină), modificare ce se poate produce prin: *alunecare*, *maclare* sau *combinat* (alunecare şi maclare).

5.2.2.1. Deformarea monocristalelor

Experimental se constată că deformarea monocristalelor poate să aibă loc pe două căi: prin alunecare şi prin maclare.

La solicitarea unui monocristal cu o forță oarecare *P* (fig.5.3. b) se constată o deplasare prin alunecare a unor părți ale monocristalului în raport cu celelalte părți, alunecare ce are loc de-a lungul planelor cristalografice. Planele de alunecare apar în general la 45° față de direcția de acțiune a forței, iar alunecarea se produce de-a lungul unor plane de densitate atomică maximă. S-a constatat că deformarea prin alunecare a unei părți a cristatului în raport cu altele se face pe o distanță egală cu un număr întreg de distanțe atomice, care poate ajunge până la aproximativ 1 000 distanțe atomice respectiv, la $2\cdot10^{-4}$mm (fig.5.3. b). Deplasarea se produce pe mai multe plane de alunecare simultan, formându-se benzi de alunecare, distanța dintre aceste plane fiind şi ea de ordinul 100…300 distanțe atomice, adică $2\cdot10^{-5}$mm. Prin urmare capacitatea unui material de a putea fi deformat plastic este dată de numărul planelor sau direcțiilor de densitatea atomică maximă. De aici reiese că materialele metalice la care celula elementară este cub cu fețe centrate (Feγ, Al, Cu, Pb, Au, Ag, Ni etc.) au o deformabilitate mai mare decât cele cu celula elementară cub cu volum centrat (Feα, Cr, Mo, V etc.) şi mult mai mare decât la cele cu celula elementară hexagonală compactă (Mg, Zn, Co, Os, Ir, Ti etc.).

Deplasarea atomilor pe planele de alunecare se produce atunci când tensiunea tangențială τ atinge o valoare teoretică dată de relația:

$$\tau = \frac{4P}{\pi D^2}\cdot\cos\varphi\cdot\cos\lambda \qquad (5.5)$$

în care: *P* este forța de deformare; *D* – diametrul epruvetei; φ - unghiul dintre

direcţia forţei şi normala *N*, la planul cristalografic; λ - unghiul dintre direcţia forţei şi direcţia planului cristalografic cu densitate atomică maximă.

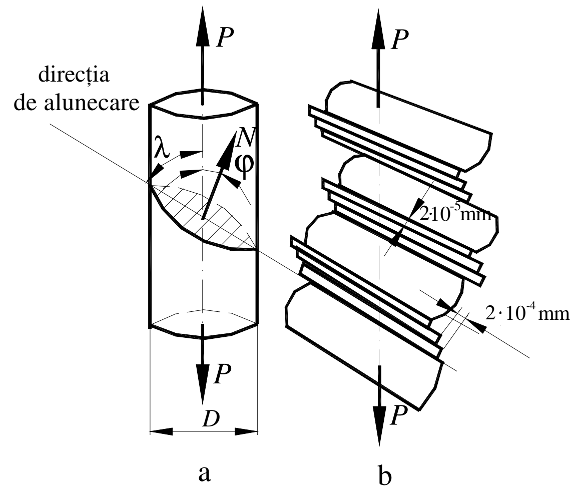


Fig. 5.3. Schema deformării unui monocristal prin alunecare:
a – starea iniţială nedeformată; b – starea deformată; λ - unghiul direcţiei de alunecare; φ - unghiul normalei *N; P* – forţa de deformare.

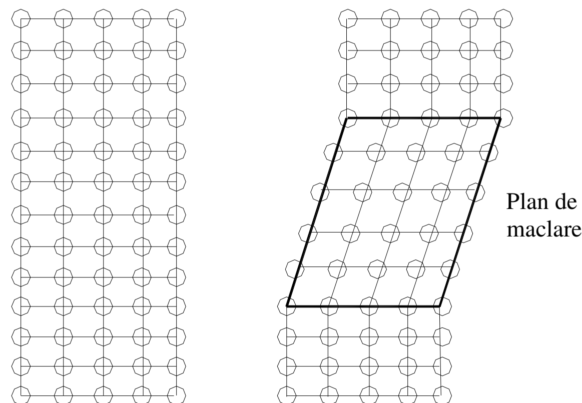


Fig. 5.4. Schema de principiu la deformarea prin maclare:
a – starea iniţială; b – starea deformată.

Experimental s-a constatat că valoarea tensiunii critice de alunecare este de 100...1 000 ori mai mică decât valoarea teoretic calculată dată de (5.5), lucru uşor explicabil prin prisma existenţei defectelor structurale de tipul dislocaţiilor, care favorizează începutul alunecării la tensiuni mult mai mici (vezi fig.2.16).

Deformarea prin maclare constă dintr-o rotire a unei porțiuni a monocristalului în raport cu altă porțiune în jurul unui plan de simetrie numit *plan de maclare* (fig.5.4). Deformarea prin maclare apare mai frecvent la materialele care cristalizează în rețeaua hexagonală compactă, are loc simultan şi nu treptat ca la alunecare. Experimental se constată că pentru a realiza deformarea prin maclare sunt necesare tensiuni mult mai mici decât la deformarea prin alunecare. Rolul maclării în procesul deformării nu constă atât în contribuția sa la rotirea unei părți a cristalului în raport cu alta, ci şi la realizarea unei orientări cristalografice favorabile deformării mai uşoare în continuare prin alunecare.

5.2.2.2 Deformarea policristalelor

Materialele metalice utilizate în tehnică sunt agregate policristaline formate dintr-un conglomerat de grăunți legati între ei (fig.5.5), fiecare grăunte putând fi considerat un monocristal, cu o anumită orientare a planelor cristalografice.

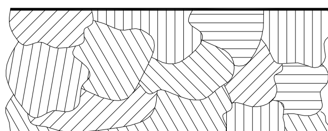


Fig. 5.5. Policristal.

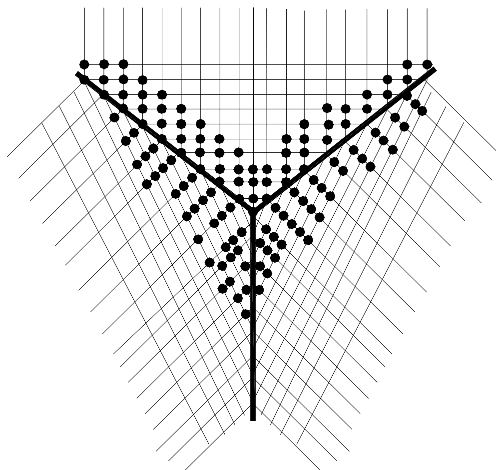


Fig. 5.6. Schema amplasării dezordonate a atomilor la marginea grăunților.

Dacă grăunții sunt formați din atomi aşezați ordonat, formând o structură cristalină, marginile lor sunt formate din atomi aşezați dezordonat, formând în

aceste zone o structură amorfă (fig.5.6). Proprietăţile de deformare ale policristalelor depind atât de proprietăţile grăunţilor, cât şi cele ale marginilor grăunţilor (limitele dintre grăunţi). De aceea, deformarea policristalelor se realizează pe două căi: *intracristalină* şi *intercristalină.*

Deformarea intracristalină are loc pe baza celor arătate la deformarea, monocristalelor, fiecare grăunte fiind influenţat în deformarea sa de grăunţii vecini cu orientare diferită a reţelei. La început se vor deforma acei grăunţi care vor avea reţeaua cristalografică orientată cel mai favorabil faţă de direcţia forţei care acţionează asupra policristalului (la 45° faţă de direcţia forţei). Deformarea grăunţilor în policristal se face în condiţii diferite, faţă de cazul unor grăunţi luaţi separat, ca monocristal, de aceea rezistenţa la deformare a policristalului este mai mare decât a monocristalului. Între rezistenţa la deformare R_d, a unui policristal şi mărimea grăunţilor există relaţia:

$$R_d = R_{d0} + \frac{c}{\sqrt{D}}, \tag{5.6}$$

în care: R_{d0} este rezistenţa la deformare a monocristalului; c - constantă de material; D – diametrul mediu al grăunţilor.

Deformarea intercristalină se explică prin rezistenţa mai mică la deformare a limitelor dintre grăunţi şi datorită unei structuri de trecere de la cea cristalină la cea amorfă. Amplasarea dezordonată a atomilor la marginea grăunţilor (fig.5.6) conduce la o deplasare a grăunţilor între ei şi la o rearanjare tot dezordonată a atomilor în funcţie de noul unghi făcut de planele cristalografice între ele. Experimental se constată că rezistenţa la deformare intercristalină este foarte mare la temperaturi joase şi foarte mică la temperaturi ridicate, tinzând către zero la temperatura de topire (fig.5.7).

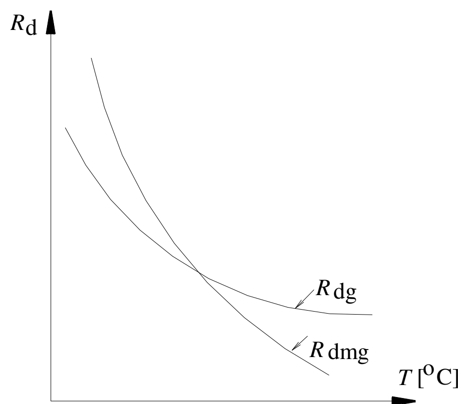


Fig. 5.7. Variaţia rezistenţei la deformare a grăunţilor R_{dg} şi a marginilor grăunţilor R_{dmg} cu temperatura.

5.3. NOȚIUNI DE TEORIA PLASTICITĂȚII

5.3.1.Starea de tensiune

Forțele exterioare care acționează asupra unui corp supus deformării creează în volumul acestuia eforturi interioare. *Intensitatea eforturilor interioare, pe unitatea de suprafață a unui element considerat din volumul corpului, poartă denumirea de tensiune* (efort unitar). Tensiunea totală care acționează pe o suprafață oarecare are trei componente: o tensiune normală şi două tensiuni tangențiale corespunzătoare celor trei direcții ale axelor de coordonate. Tensiunile normale sunt considerate pozitive, atunci când provoacă întindere, şi negative, când provoacă compresiune. Tensiunile tangențiale sunt considerate pozitive atunci când sensul lor coincide cu sensul axelor de coordonate, şi negative, când au sens contrar.

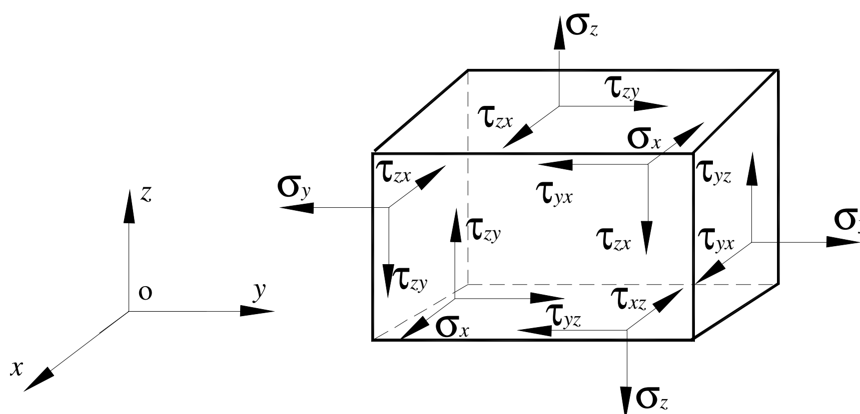


Fig. 5.8. Starea de eforturi unitare în jurul unui punct:
σ_x, σ_y, σ_z – eforturi unitare normale; τ_{xy}, τ_{yx}, τ_{xz}, τ_{zx}, τ_{yz}, τ_{zy} – eforturi unitare tangențiale.

Dacă în toate punctele volumului corpului supus deformării starea de tensiune este identică, se consideră *stare de tensiune omogenă*, iar dacă nu este identică – *stare de tensiune neomogenă*. În practică, din cauza distribuției neuniforme a forțelor la interfața sculă–semifabricat, a temperaturii diferite la care are loc deformarea diferitelor puncte, precum şi din cauza neomogenității structurale a materialului deformat, *starea de tensiune este neomogenă*.

Starea de eforturi unitare, în jurul unui punct, al unui corp se studiază utilizând un sistem de axe de coordonate *xoyz*, definindu-se cu ajutorul a nouă componente (fig.5.8): σ_x, σ_y, σ_z, numite *eforturi unitare normale* şi $\tau_{xy} = \tau_{yx}$; $\tau_{xz} = \tau_{zx}$; $\tau_{yz} = \tau_{zy}$, numite *eforturi unitare tangențiale*.

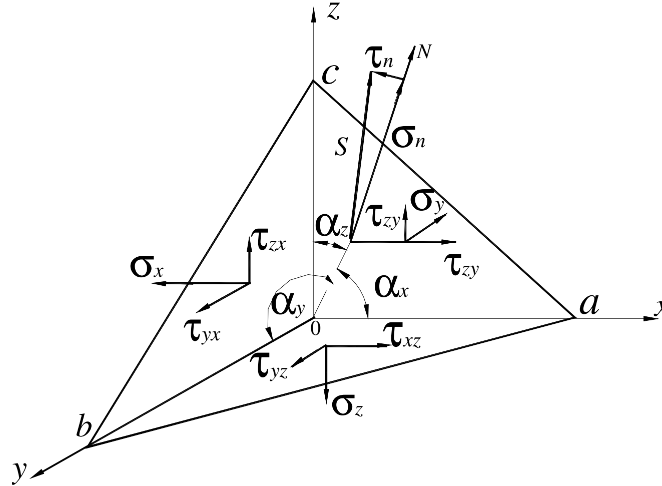


Fig. 5.9. Starea de tensiuni pe o suprafață înclinată abc:
S – tensiunea totală; α_x, α_y, α_z – ungiurile pe care le face normala *N* cu axele de coordonate; σ_x, σ_y, σ_z, τ_{xy}, τ_{xy}, τ_{xz}, τ_{yz} – tensiunile corespunzătoare suprafețelor *aob, aoc* şi respectiv boc; σ_n – tensiunea normală pe o suprafață înclinată; τ_n – tensiunea tangențială totală ce acționează pe suprafața înclinată.

Pentru a cunoaşte tensiunile pe o suprafață înclinată față de axele de coordonate se secționează un paralelipiped cu un plan înclinat față de cele trei axe (fig.5.9), normala la acest plan fiind înclinată cu unghiurile α_x, α_y şi α_z față de axele de coordonate *OX, OY* şi respectiv *OZ*. Scriind ecuațiile de echilibru pe fiecare direcție a axelor de coordonate se obțin componentele S_x, S_y şi S_z, ale tensiunii totale *S* ce acționează pe suprafața înclinată *abc*:

$$S_x = \sigma_x \cdot \cos\alpha_x + \tau_{xy} \cdot \cos\alpha_y + \tau_{xz} \cdot \cos\alpha_z , \tag{5.7}$$

$$S_y = \tau_{yx} \cdot \cos\alpha_x + \sigma_y \cdot \cos\alpha_y + \tau_{yz} \cdot \cos\alpha_z , \tag{5.8}$$

$$S_z = \tau_{zx} \cdot \cos\alpha_x + \tau_{zy} \cdot \cos\alpha_y + \sigma_z \cdot \cos\alpha_z . \tag{5.9}$$

Tensiunea totală *S* va avea expresia:

$$S = \sqrt{S_x^{\ 2} + S_y^{\ 2} + S_z^{\ 2}} , \tag{5.10}$$

iar tensiunea normală pe suprafața înclinată σ_n se determină cu relația:

$$\sigma_n = S_x \cdot \cos\alpha_x + S_y \cdot \cos\alpha_y + S_z \cdot \cos\alpha_z . \tag{5.11}$$

Cunoscând tensiunea totală *S* şi tensiunea normală σ_n se poate detrmina şi tensiunea tangențială totală τ_n ce acționează pe suprafața înclinată, cu expresia:

$$\tau_n = \sqrt{S^2 - \sigma_n^{\ 2}} \ . \tag{5.12}$$

În fiecare punct al corpului se pot duce trei suprafețe perpendiculare între ele, unde tensiunile tangențiale sunt nule, din care cauză asupra lor acționează numai tensiuni normale. Aceste suprafețe se numesc *suprafețe principale*, tensiunile care acționează pe aceste suprafețe sunt *tensiunile normale principale* (se notează cu σ_1, σ_2 şi σ_3) şi direcțiile lor – *direcțiile principale.*

În aceste condiții tensiunile care acționează pe o suprafață înclinată față de axele principale cu unghiurile α_1, α_2 şi α_3, se calculează cu relațiile:

$$S = \sqrt{\sigma_1^2 \cdot \cos^2\alpha_1 + \sigma_2^{\ 2} \cdot \cos^2\alpha_2 + \sigma_3^{\ 2} \cdot \cos^2\alpha_3} \tag{5.12}$$

$$\sigma_n = \sigma_1 \cdot \cos^2\alpha_1 + \sigma_2 \cdot \cos^2\alpha_2 + \sigma_3 \cdot \cos^2\alpha_3 \tag{5.13}$$

$$\tau_n = \sqrt{S^2 - \sigma_n^{\ 2}} \ . \tag{5.14}$$

Între componentele stării de tensiune se definesc şi expresiile invariantului liniar I_1, invariantului pătratic I_2 şi invariantului cubic I_3, astfel:

$$I_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z = \text{constant} \tag{5.15}$$

$$I_2 = \sigma_x\sigma_y + \sigma_x\sigma_z + \sigma_y\sigma_z - \tau_{xy}^{\ 2} - \tau_{xz}^{\ 2} - \tau_{yz}^{\ 2} = \text{constant} \tag{5.16}$$

$$I_3 = \sigma_x\sigma_y\sigma_z + 2\tau_{xy} \cdot \tau_{xz} \cdot \tau_{yz} - \sigma_x \cdot \tau_{yz}^{\ 2} - \sigma_y \cdot \tau_{xz}^{\ 2} - \sigma_z \cdot \tau_{xy}^{\ 2} = \text{constant} \ . \tag{5.17}$$

Invariantul cubic se mai numeşte şi *tensorul eforturilor unitare T_σ* şi poate fi scris sub forma:

$$T_\sigma = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{vmatrix} \ , \tag{5.18}$$

care în sistemul de axe unitare principale devine:

$$T_\sigma = \begin{vmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{vmatrix} \ . \tag{5.19}$$

Invariantul cubic caracterizează starea de eforturi unitare indiferent de sistemul de referință ales. Dacă eforturile unitare de-a lungul celor trei direcții sunt egale cu o valoare medie σ_m dată de:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z}{3} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}, \tag{5.20}$$

atunci tensorul eforturilor unitare dată de (5.20) devine:

$$T_\sigma^0 = \begin{vmatrix} \sigma_m & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_m & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_m \end{vmatrix} \tag{5.21}$$

şi se numeşte *tensorul sferic al eforturilor.*

Diferența dintre tensorul eforturilor unitare şi tensorul sferic se numeşte *deviatorul eforturilor unitare* D_σ şi are expresia:

$$D_\sigma = \begin{vmatrix} \sigma_x - \sigma_m & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y - \sigma_m & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z - \sigma_m \end{vmatrix} \tag{5.22}$$

care exprimat în raport cu sistemul de axe principale devine:

$$D_\sigma = \begin{vmatrix} \sigma_1 - \sigma_m & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 - \sigma_m & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 - \sigma_m \end{vmatrix}. \tag{5.23}$$

Observația 1: Tensorul sferic al eforturilor unitare caracterizează o stare uniformă de eforturi de întindere sau compresiune, iar deviatorul eforturilor unitare exprimă acea stare din starea de eforturi unitare pe seama cărora se poate realiza modificarea formei corpului.

Dacă se consideră o suprafață a cărei normală este egal înclinată față de cele trei axe principale, aceasta este o *suprafața octaedrică*, iar tensiunile pe această suprafață – *tensiuni octaedrice*, şi se calculează cu relațiile:

$$S_m = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \left(\sigma^2{}_1 + \sigma_2{}^2 + \sigma_3\right)}, \tag{5.24}$$

$$\sigma_m = \frac{1}{3} \cdot \left(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3\right), \tag{5.25}$$

$$\tau_m = \sqrt{\frac{1}{3}\left(\sigma_1{}^2 + \sigma_2{}^2 + \sigma_3{}^2\right) - \frac{1}{9}\left(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3\right)^2} \quad . \tag{5.26}$$

Expresiile (5.25) şi (5.26) demonstrează că atât efortul unitar octaedric normal σ_m, cât şi efortul unitar octaedric tangențial sunt mărimi constante indiferent de sistemul de coordonate ales.

Observația 2: Starea de tensiune poate fi reprezentată grafic prin tensiunile principale. În funcție de sensul tensiunilor, pot exista patru scheme pentru *starea de tensiune spațială* (fig.5.10. a), trei scheme pentru *starea de tensiune plană* (fig.5.10. b) şi două scheme pentru *starea de tensiune liniară* (fig.5.10. c).

Cunoaşterea schemei stării de tensiune este necesară deoarece, pe baza acesteia, se poate face o apreciere calitativă a comportării la deformare a unui material în condiții de producție, în comparație cu comportarea lor la deformare în condiții de laborator.

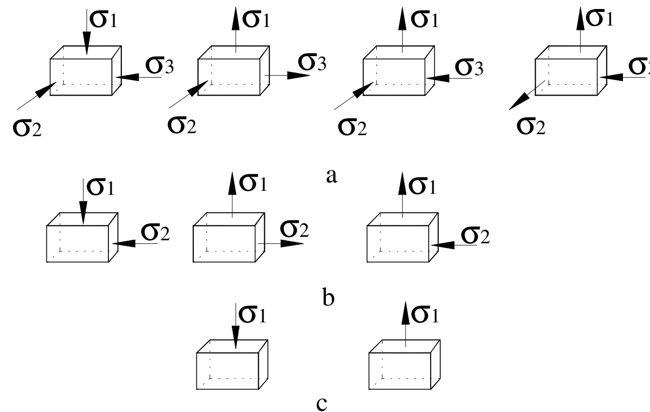


Fig. 5.10. Schemele stării de tensiune:
a – în spațiu; b – în plan; c – în linie.

5.3.2. Starea de deformare

Un corp supus acțiunii unor forțe exterioare suferă modificări ale formei, respectiv ale pozițiilor reciproce ale diferitelor puncte din interiorul acestuia, față

de pozițiile avute înainte de aplicarea forțelor. Totalitatea deformațiilor suferite de elementele infinit mici din vecinătatea unui punct definesc starea de deformare din jurul punctului considerat. Pentru a analiza starea de deformare în jurul unui punct, se consideră în interiorul corpului un punct *A*, de coordonate *x, y, z*, în vecinătatea căruia se află punctul *B* de coordonate *x*+d*x*, *y*+d*y*, *z*+d*z* (fig.5.11).

Ca urmare a acțiunii forțelor de deformare, poziția punctelor se modifică suferind deplasările *u, v, w* şi respectiv *u′, v′, w′*. Deplasările *u′, v′, w′* se pot determina pe baza dezvoltării funcțiilor în serie Taylor având forma:

$$u' = u + \frac{\partial u}{\partial x}\mathrm{d}x + \frac{\partial u}{\partial y}\mathrm{d}y + \frac{\partial u}{\partial z}\mathrm{d}z$$
$$v' = v + \frac{\partial v}{\partial x}\mathrm{d}x + \frac{\partial v}{\partial y}\mathrm{d}y + \frac{\partial v}{\partial z}\mathrm{d}z \qquad (5.27)$$
$$w' = w + \frac{\partial w}{\partial x}\mathrm{d}x + \frac{\partial w}{\partial y}\mathrm{d}y + \frac{\partial w}{\partial z}\mathrm{d}z.$$

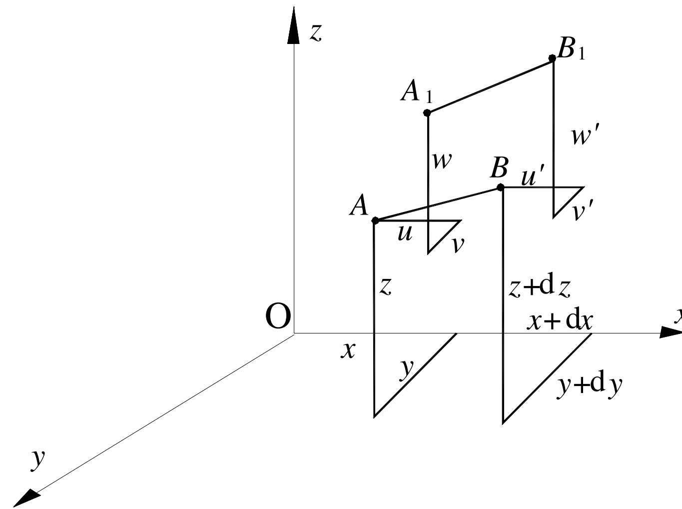


Fig. 5.11. Componentele deplasării la starea de deformare în jurul unui punct.

În situațiile când dreapta *AB* ocupă poziții particulare, expresia (5.27) devine:

$$u' = u + \frac{\partial u}{\partial x}\mathrm{d}x;\quad v' = v + \frac{\partial v}{\partial x}\mathrm{d}x;\quad w' = w + \frac{\partial w}{\partial x}\mathrm{d}x \qquad (5.28)$$

când dreapta *AB* este paralelă cu axa *OX* (d*y* = d*z* =0);

$$u' = u + \frac{\partial u}{\partial y}\mathrm{d}y;\quad v' = v + \frac{\partial v}{\partial y}\mathrm{d}y;\quad w' = w + \frac{\partial w}{\partial y}\mathrm{d}y \tag{5.29}$$

când *AB* este paralel cu axa *OY* (d*x* = d*z* = 0);

$$u' = u + \frac{\partial u}{\partial z}\mathrm{d}z;\quad v' = v + \frac{\partial v}{\partial z}\mathrm{d}z;\quad w' = w + \frac{\partial w}{\partial z}\mathrm{d}z \tag{5.30}$$

când *AB* este paralelă cu axa *OZ* (d*x* = d*y* = 0).

Pentru a determina deformațiile liniare şi unghiulare dintr-un corp se delimitează în interiorul lui un paralelipiped elementar raportat la sistemul de referință *Oxyz*. Presupunând că înainte de deformare volumul elementar ocupă poziția *abcd*, iar după deformarea se deplasează în poziția *a′b′c′d′*, deformațiile liniare se scriu astfel:

$$\begin{aligned}
\varepsilon_x &= \frac{a'b' - ab}{ab} = \frac{u + \frac{\partial u}{\partial x}\mathrm{d}x + \mathrm{d}x + u - x}{8} = \frac{\partial u}{\partial x}\\
\varepsilon_y &= \frac{a'd' - ad}{ad} = \frac{v + \frac{\partial v}{\partial y}\mathrm{d}y + \mathrm{d}y + v - y}{8} = \frac{\partial v}{\partial y}\\
\varepsilon_z &= \frac{\partial w}{\partial z}.
\end{aligned} \tag{5.31}$$

În mod similar se deduce deformația unghiulară α_{yx} pentru deplasarea laturii *AB*:

$$\alpha_{yx} = \frac{\partial u}{\partial y}. \tag{5.32}$$

Variația unghiului drept γ_{xy} devine:

$$\gamma_{xy} = \alpha_{xy} + \alpha_{yx} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \tag{5.33}$$

şi în mod analog deformațiile unghiulare pentru celelalte două plane devin:

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x};\ \gamma_{yz} = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial v}{\partial z};\ \gamma_{zx} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z}. \tag{5.34}$$

Ca şi în cazul stării de eforturi unitare, starea de deformații în jurul unui punct se caracterizează cu cele nouă componente scrise sub forma unei matrici numită *tensorul deformațiilor*, T_ε, de forma:

$$T_{\varepsilon}=\begin{vmatrix} \varepsilon_x & \frac{1}{2}\gamma_{xy} & \frac{1}{2}\gamma_{xz} \\ \frac{1}{2}\gamma_{yx} & \varepsilon_y & \frac{1}{2}\gamma_{yz} \\ \frac{1}{2}\gamma_{zx} & \frac{1}{2}\gamma_{zy} & \varepsilon_z \end{vmatrix}. \qquad (5.35)$$

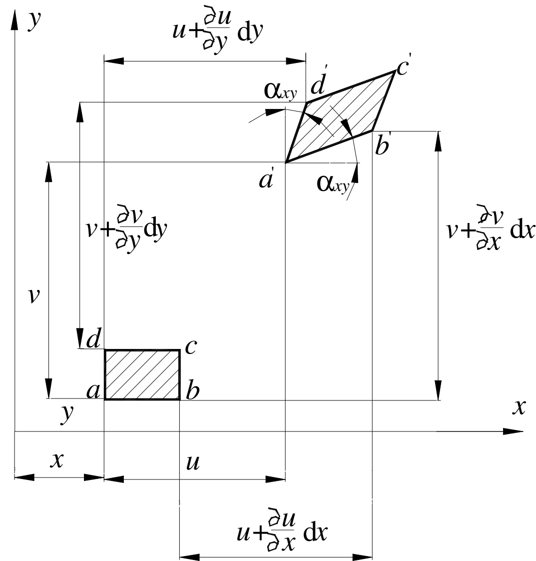


Fig. 5.12. Studiul deformării unui element plan în coordonate carteziene.

Starea de deformații, scrisă în raport cu un sistem de axe principale în care deformațiile unghiulare sunt nule, poate fi scrisă astfel:

$$T_{\varepsilon}=\begin{vmatrix} \varepsilon_1 & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_2 & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_3 \end{vmatrix}. \qquad (5.36)$$

Dacă toate deformațiile în jurul unui punct sunt egale între ele având valoarea egală cu o deformație medie $\varepsilon_m = \frac{\varepsilon_1+\varepsilon_2+\varepsilon_3}{3}$, starea de deformație este dată de:

$$T_\varepsilon = \begin{vmatrix} \varepsilon_m & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_m & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_m \end{vmatrix}. \tag{5.37}$$

Față de sistemul de axe principale pot fi determinate valorile maxime ale deformațiilor de alunecare specifică:

$$\begin{aligned} \gamma_{12} &= \pm(\varepsilon_1 - \varepsilon_2), \\ \gamma_{13} &= \pm(\varepsilon_1 - \varepsilon_3), \\ \gamma_{31} &= \pm(\varepsilon_3 - \varepsilon_1), \end{aligned} \tag{5.38}$$

care se găsesc în trei plane perpendiculare, fiecare din acesta fiind perpendicular pe un plan principal al deformațiilor şi dispuse la 45° față de celelalte două plane principale.

În cazul unui corp raportat la un sistem de axe trirectangular, asupra căruia acționează într-un punct eforturile σ_x, σ_y, σ_z, τ_{xy}, τ_{xz}, τ_{yz} se produc deformațiile ε_x, ε_y, ε_z, γ_{xy}, γ_{xz}, γ_{yz}, între ele existând relațiile de legătură ce poartă numele de *ecuațiile generalizate ale lui Hooke:*

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1}{E}\left[\sigma_x - \nu\left(\sigma_y + \sigma_z\right)\right]; \quad \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}, \\ \varepsilon_y &= \frac{1}{E}\left[\sigma_y - \nu\left(\sigma_x + \sigma_z\right)\right]; \quad \gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G}, \\ \varepsilon_z &= \frac{1}{E}\left[\sigma_z - \nu\left(\sigma_x + \sigma_y\right)\right]; \quad \gamma_{zx} = \frac{\tau_{zx}}{G}, \end{aligned} \tag{5.39}$$

în care: ν este coeficientul lui Poisson, iar între E şi G există relația:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}. \tag{5.40}$$

În scopul determinării stării de eforturi când se cunosc componentele deformațiilor, ecuațiile (5.39) se pot scrie sub forma:

$$\sigma_x = 2G\left[\varepsilon_x + \frac{\nu}{1-2\mu}\left(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z\right)\right]; \quad \tau_{xy} = G \cdot \gamma_{xy}$$

$$\sigma_y = 2G\left[\varepsilon_y + \frac{\nu}{1-2\mu}\left(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z\right)\right]; \tau_{yz} = G \cdot \gamma_{xy} \qquad (5.41)$$

$$\sigma_z = 2G\left[\varepsilon_z + \frac{\nu}{1-2\mu}\left(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z\right)\right]; \tau_{zx} = G \cdot \gamma_{zx} \,.$$

Din ecuațiile (5.41) se pot scrie mai multe relații între eforturile unitare şi deformațiile specifice, de forma:

$$\frac{\sigma_x - \sigma_y}{\varepsilon_x - \varepsilon_y} = \frac{\sigma_y - \sigma_z}{\varepsilon_y - \varepsilon_z} = \frac{\sigma_z - \sigma_x}{\varepsilon_z - \varepsilon_x} = 2G = \text{constant} \qquad (5.42)$$

$$\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = \frac{1-\nu}{E}\left(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z\right) \qquad (5.43)$$

$$\varepsilon_x - \varepsilon_y = \frac{1+\nu}{E}\left(\sigma_x - \sigma_y\right) \qquad \varepsilon_y - \varepsilon_z = \frac{1+\nu}{E}\left(\sigma_y - \sigma_z\right) \qquad (5.43')$$

$$\varepsilon_z - \varepsilon_x = \frac{1+\nu}{E}\left(\sigma_z - \sigma_x\right) \,. \qquad (5.44)$$

Relațiile (5.42), (5.43), (5.43′) şi (5.44) permit realizarea unor probleme practice de plasticitate întâlnite la prelucrarea metalelor şi aliajelor prin deformare plastică.

5.3.3. Starea plastică. Ipoteze de plasticitate

Starea plastică apare într-un corp atunci când sub acțiunea unei stări de eforturi unitare, în acesta se produc deformații permanente mari, fără ruperea legăturilor de coeziune intermoleculară.

Starea plastică este influențată de starea de eforturi unitare, caracterizată de cele nouă componente normale şi tangențiale. În cazul când studiul stării de eforturi se face în raport cu un sistem de axe principale, starea plastică este definită de trei componente normale principale.

Starea de eforturi pentru care apare curgerea plastică a unui material este definită de combinațiile celor trei eforturi normale principale, fiind exprimate printr-o relație de forma

$$f(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3) = 0 \quad , \qquad (5.45)$$

care reprezintă o suprafață numită *suprafața deformațiilor.*

Stabilirea relațiilor de legătură între tensiuni şi limita de curgere a materialului de forma (5.45) se poate face numai pe baza unor ipoteze a căror

expresie reprezintă suprafața presupusă a deformațiilor plastice. Dintre ipotezele existente, cele mai mult acceptate sunt: *ipoteza constanței eforturilor unitare tangențiale maxime* şi *ipoteza energetică a plasticității.*

5.3.3.1. Ipoteza constanței eforturilor unitare tangențiale maxime

În urma a numeroase cercetări, ipoteza lui Saint Venant a fost definită astfel: *deformarea plastică într-un anumit punct al semifabricatului apare independent de schema stării de tensiune, dacă tensiunea tangențială maximă, în punctul respectiv, ajunge la o valoare limită, caracteristică pentru materialul dat.*

Mărimea maximă a tensiunii tangențiale este dată de relațiile:

$$\tau_{12} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2};\ \tau_{23} = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2};\ \tau_{31} = \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{2}. \qquad (5.46)$$

În cazul unei solicitări monoaxiale ($\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ şi $\sigma_1 = \sigma_c$) rezultă că tensiunea tangențială maximă este $2\tau_{max} = R_c = \tau_c$, iar relațiile (5.46) la trecerea în starea plastică devin:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \sigma_c = 2k;\ \sigma_2 - \sigma_3 = \sigma_c = 2k;\ \sigma_3 - \sigma_1 = \sigma_c = 2k, \qquad (5.47)$$

k fiind efortul tangențial constant ($k = \tau_c$)

Relațiile (5.47) nu pot fi valabile simultan, dar la trecerea materialului în stare plastică, este suficient să fie valabilă una dintre ele. Suprafețele delimitate de ecuațiile (5.47) sunt suprafețele deformațiilor plastice şi reprezintă fețele unei prisme egal înclinată față de axele principale de coordonate.

În cazul când studiul comportării plastice a unui material se face în raport cu un sistem de axe oarecare, pentru care se cunosc componentele eforturilor unitare în raport cu axele *x, y, z,* condiția de plasticitate devine:

$$(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^{\ 2} = \sigma_c^{\ 2} \qquad (5.48)$$

sau

$$(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^{\ 2} = 4k^2. \qquad (5.49)$$

Din cele arătate mai sus rezultă că eforturile unitare tangențiale ating valoarea maximă în plane care trec prin una dintre axele principale şi împart în două părți egale unghiul cuprins între cele două axe.

Conform acestei ipoteze strea plastică apare şi se menține într-un material atunci când diferența eforturile unitare normale principale este egală cu limita de curgere a materialului, adică atunci când efortul unitar tangențial maxim ajunge egal cu limita de curgere.

5.3.3.2. Ipoteza energetică a plasticităţii

Conform acestei ipoteze *starea plastică apare atunci când energia potenţială acumulată într-un material sub influenţa solicitărilor exterioare atinge o valoare limită*. Energia potenţială de deformare W, se compune din energia potenţială de schimbare a volumului W_v şi din energia potenţială de schimbare a formei W_f, deci:

$$W = W_v + W_f \,. \tag{5.50}$$

Energia potenţială acumulată de un corp asupra căruia acţionează eforturile σ_1, σ_2, σ_3 şi care a suferit deformaţiile corespunzătoare ε_1, ε_2, ε_3, se detrmină cu relaţia cunoscută din teoria elasticităţii:

$$W = \frac{1}{2}\left(\sigma_1\varepsilon_1 + \sigma_2\varepsilon_2 + \sigma_3\varepsilon_3\right) \,. \tag{5.51}$$

Energia potenţială de schimbare a volumului W_v se calculează cu relaţia:

$$W_v = 3 \cdot \frac{1}{2} \cdot \sigma_{med} \cdot \varepsilon_{med} \,, \tag{5.52}$$

în care: σ_{med} este tensiunea normală medie, dată de relaţia:

$$\sigma_{med} = \frac{1}{3}\left(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3\right), \tag{5.53}$$

iar ε_{med} este deformaţia medie de forma:

$$\varepsilon_{med} = \frac{1}{3}\left(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3\right) \,. \tag{5.54}$$

Dacă în relaţia (5.50) se înlocuiesc valorile lui W şi W_v date de (5.51) şi (5.52), după reducerile şi ordonările necesare se obţine:

$$W_f = \frac{1+\nu}{6E}\left[\left(\sigma_1 - \sigma_2\right)^2 + \left(\sigma_2 - \sigma_3\right)^2 + \left(\sigma_3 - \sigma_1\right)^2\right], \tag{5.55}$$

în care ν este coeficientul Poisson.

Deoarece pentru un material dat, la o anumită temperatură, atât ν, cât şi E au valori constante indiferent de valorile absolute ale tensiunilor σ_1, σ_2, σ_3, relaţia (5.55) devine:

$$\left(\sigma_1 - \sigma_2\right)^2 + \left(\sigma_2 - \sigma_3\right)^2 + \left(\sigma_3 + \sigma_1\right)^2 = \text{const} \tag{5.56}$$

şi se numeşte *ecuaţia energetică a plasticităţii.*

Pentru cazul unei solicitări monoaxiale ($\sigma_2 = \sigma_3 = 0$; $\sigma_1 = \sigma_c$) relaţia (5.56)

devine:

$$w_f = \frac{1+\nu}{6E}\sigma_c^{\ 2} \quad . \tag{5.57}$$

Din egalarea relațiilor (5.55) şi (5.57) se obține condiția de plasticitate:

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 + \sigma_1)^2 = 2\sigma_c^{\ 2} . \tag{5.58}$$

Ecuația energetică a plasticității (5.58) raportat la un sistem de axe principale, poate fi scrisă față de un sistem oarecare sub forma:

$$(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^{\ 2} + \tau_{yz}^{\ 2} + \tau_{zx}^{\ 2}) = 2\sigma_c^{\ 2} , \tag{5.59}$$

pe baza legăturilor scrise între eforturile unitare definite față de cele două sisteme de referință.

Verificarea ipotezelor plasticității prezintă un mare interes atât pentru dezvoltarea teoriei plasticității, cât şi pentru rezolvarea problemelor practice ale prelucrării prin deformare plastică.

Experimental se constată că ecuațiile de plasticitate nu dau acelaşi rezultat pentru toate materialele, abaterile putând fi cu atât mai mari, cu cât structura materialului este mai puțin stabilă. De asemenea nu se ține cont de eterogenitatea materialului (factorii structurali), temperatura la care are loc deformarea (factorii termici) şi condițiile în care se desfăşoară deformarea (factorii tehnologici).

5.3.4. Legile de bază ale deformării plastice

Rezultatele experimentale obținute şi numeroasele studii făcute au condus la precizarea unor legi general valabile cu privire la deformarea plastică a metalelor şi aliajelor, legi aplicabile în proiectarea oricărui proces tehnologic de realizare prin deformare plastică a pieselor. Aceste legi sunt: *legea coexistenței deformațiilor elastice cu cele plastice*, în timpul deformării plastice; *legea volumului constant; legea rezistenței minime; legea apariției şi echilibrării tensiunilor intere* şi *legea similitudinii.*

5.3.4.1. Legea coexistenței deformațiilor elastice cu cele plastice în timpul deformării plastice

Experimental s-a constatat că deformarea plastică a materialelor metalice este însoțită în permanență de o deformație elastică, iar deformarea plastică începe numai după depăşirea unei mărimi limită a deformării elastice. Acest termen este pus în evidență foarte bine pe diagrama tensiune-deformație din figura 5.12 unde se vede că deformația totală ε_t se compune dintr-o deformație elastică ε_e şi o deformație ε_p, fiind dată de relația (5.3).

Pe porțiunea *OC* a diagramei are loc doar o deformație elastică, în acest domeniu fiind valabilă relația lui Hooke:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad , \tag{5.60}$$

în care: ε este gradul de deformare corespunzător tensiunii σ, iar E este modulul de elasticitate.

Când deformarea elastică a atins limita corespunzătoare punctului *C*, începe deformarea plastică şi în acest domeniu studiul comportării materialelor este mult mai dificil deoarece nu mai există proporționalitate între tensiuni şi deformații (modulul de plasticitate este o mărime variabilă în timpul defromării). În anumite condiții bine precizate, relațiile din domeniul elastic pot da rezultate mulțumitoare pentru domeniul plastic. De exemplu, pentru deformări în spațiu relația (5.60) devine:

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E}\left[\sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3)\right] \quad , \qquad \varepsilon_2 = \frac{1}{E}\left[\sigma_1 - \nu(\sigma_3 + \sigma_1)\right] \quad ,$$

$$\varepsilon_3 = \frac{1}{E}\left[\sigma_3 - \nu(\sigma_1 + \sigma_2)\right] \; , \tag{5.61}$$

în care: ε_1, ε_2, ε_3 sunt gradele de deformare corespunzătoare tensiunilor σ_1, σ_2, σ_3 pe cele trei direcții; ν - coeficientul lui Poisson.

Dacă se consideră $\varepsilon_2 \approx \varepsilon_3 \approx 0$ din relația (5.61) rezultă:

$$\sigma_2 - \nu(\sigma_1 + \sigma_3) = 0 \; , \tag{5.62}$$

$$\sigma_3 - \nu(\sigma_1 + \sigma_2) = 0 \; . \tag{5.63}$$

Înlocuind valoarea lui σ_2 scoasă din (5.62) în relația (5.63), se obține pentru σ_3 o relație de forma:

$$\sigma_3 = \frac{\nu}{1-\nu}\sigma_1 , \tag{5.64}$$

iar dacă se scoate $\sigma_3$din (5.63) şi se înlocuieşte în (5.62), se obține pentru σ_2 o relație de forma:

$$\sigma_2 = \frac{\nu}{1-\nu}\sigma_1 . \tag{5.65}$$

Comparând relațiile (5.64) şi (5.65) rezultă:

$$\sigma_2 = \sigma_3 = \frac{\nu}{1-\nu}\sigma_1 , \tag{5.66}$$

relație destul de des folosită în rezolvarea unor probleme practice ale defromării plastice.

Observație. Legea prezintă o importanță practică deosebită, deoarece după înlăturarea forțelor exterioare ce au provocat deformarea plastică, deformațiile elastice dispar treptat rămânând o deformație permanentă dată de relația (5.4). De acest lucru trebuie ținut cont în proiectarea oricărui proces tehnologic de realizare a unei piese prin deformare plastică, cu referire la configurația geometrică a sculelor cu ajutorul cărora se aplică forțele de deformare asupra materialului.

5.3.4.2.Legea volumului constant

În ipoteza unor pierderi minime de material prin ardere (cazul deformării plastice la cald) sau prin îndesarea materialului cu goluri interioare, se poate considera că volumul materialului rămâne constant în oricare etapă a procesului de deformare:

$$V_0 = V_1 = V_2 = ... = V_i = ... = V_n , \quad (5.67)$$

în care $i = 1, 2, 3, ..., n$ sunt etapele procesului de deformare plastică.

În cazul deformării plastice a semifabricatului inițial 1 (fig.5.13), de volum inițial $V_o = l_0 \cdot b_0 \cdot h_0$, cu forța P, a rezultă după prima etapă a deformării corpul 2, de volum $V_1 = l_1 \cdot b_1 \cdot h_1$. Aplicând legea volumului constant (5.67) în acest caz se obține:

$$l_0 \cdot b_0 \cdot h_0 = l_1 \cdot b_1 \cdot h_1 \ . \quad (5.68)$$

Relația (5.68) se mai poate scrie sub forma:

$$\frac{l_1}{l_0} \cdot \frac{b_1}{b_0} \cdot \frac{h_1}{h_0} = 1 \quad \text{sau} \quad \lambda \cdot \beta \cdot \nu = 1 , \quad (5.69)$$

în care s-au făcut notațiile: $\lambda = l_1/l_0$ este coeficientul de alungire, $\beta = b_1/b_0$ – coeficientul de lățire; $\gamma = h_1/h_0$ coeficientul de reducere.

Prin logaritmarea relației (5.69) rezultă:

$$\ln\frac{l}{l_0} + \ln\frac{b_1}{b_0} + \ln\frac{h_1}{h_0} = 0 \quad \text{sau} \quad \ln\lambda + \ln\beta + \ln\nu = 0 . \quad (5.70)$$

Relația (5.70) este prima exprimare a legii volumului constant și demonstrează că suma gradelor logaritmice de deformare după cele trei direcții este nulă.

Deoarece deformația totală ε_t, în funcție de deformațiile în lungul celor trei laturi, este dată de relația:

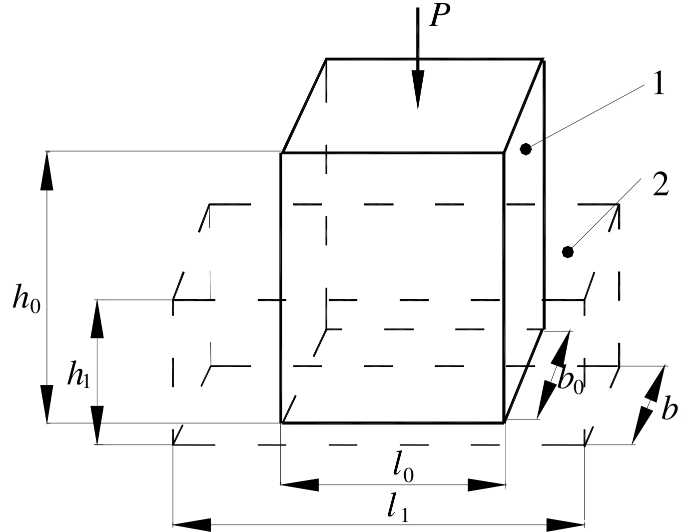


Fig. 5.13. Deformarea unui semifabricat sub formă de prismă dreaptă cu o forță P:
1 – starea inițială de dimensiuni l_0, b_0, h_0; 2 – starea deformată de dimensiuni l_1, b_1, h_1,

$$\varepsilon_t = \varepsilon_l + \varepsilon_b + \varepsilon_h = \int_{l_0}^{l_1} \frac{\mathrm{d}l}{l} + \int_{b_0}^{b_1} \frac{\mathrm{d}b}{b} + \int_{h_0}^{h_1} \frac{\mathrm{d}h}{h} \tag{5.71}$$

şi ținând cont de expresia (5.70), se obține o a doua exprimare a legii volumului constant:

$$\varepsilon_l + \varepsilon_b + \varepsilon_h = 0 \tag{5.72}$$

prin urmare, o deformație într-o direcție este egală în valoare absolută cu suma celorlalte două deformații în lungul celorlalte două direcții.

Dacă relația (5.72) se înmulţeşte cu secțiunea S, a materialului deformat, se obține o a treia exprimare a legii volumului constant:

$$S \cdot \varepsilon_l + S \cdot \varepsilon_b + S \cdot \varepsilon_h = 0 \quad \text{sau} \quad V_l + V_b + V_h = 0\,, \tag{5.73}$$

în care: V_l, V_b, V_h reprezintă volumul de material deplasat în direcțiile corespunzătoare *l, b, h.*

Relația (5.73) demonstrează că şi suma volumelor de material deplasate în cele trei direcții perpendiculare între ele este nulă.

Observație. Această lege prezintă importanță practică deosebită, deoarece permite calculul dimensiunilor semifabricatului inițial pe baza dimensiunilor piesei finite, la aplicarea ei trebuie ținut cont însă de starea materialului, precum şi de condițiile de deformare.

5.3.4.3. Legea rezistenței minime

Deplasarea oricărui punct material al corpului deformat, situat pe suprafața perpendiculară pe direcția forțelor de deformare, se face după distanța cea mai mică la perimetrul secțiunii.

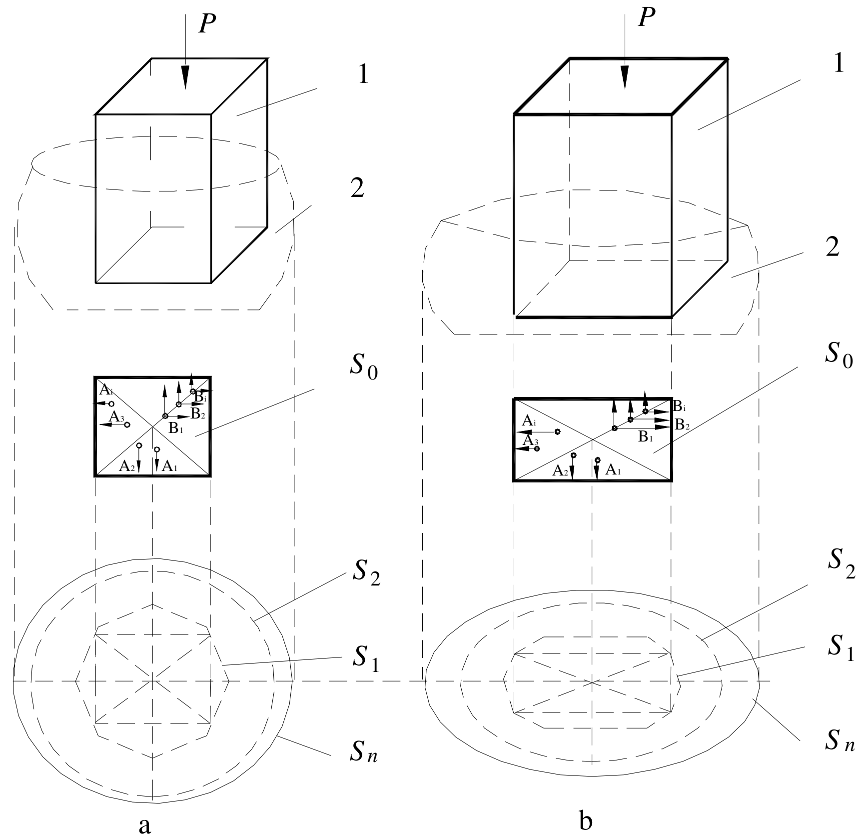


Fig. 5.14. Deformarea unui semifabricat sub acțiunea forței *P*:
a – de secțiune pătrată; b – de secțiune dreptunghiulară; 1 – semifabricatul inițial; 2 – semifabricatul deformat; S_1 – secțiunea inițială; S_2, S_3 – secțiuni intermediare; S_n – secțiunea finală.

Deoarece distanța cea mai mică este perpendiculară la perimetrul secțiunii, înseamnă că dintre diferitele posibilități de deplasare, punctele respective vor alege pe acelea pe care rezistența întâmpinată este minimă. Dacă se consideră un corp de forma unei prisme pătrate drepte (fig.5.13) supus deformării cu forța *P*, punctele A_i aflate pe o direcție perpendiculară pe direcția de acționare a forței *P*, se vor deplasa pe direcția perpendiculară pe laturile secțiunii (cele aflate pe diagonala B_i, se vor deplasa în același mod, spre una din laturile vecine, dar în nici un caz în lungul

diagonalei). Intensitatea curgerii materialului într-un sens este proporțională cu lungimea normalei la contur astfel încât, după o anumită deformare sau un anumit număr de deformări, o secțiune pătrată poate deveni circulară (fig.5.14. a), iar o secțiune dreptunghiulară poate deveni eliptică (fig.5.14. b).

În majoritatea cazurilor, din considerente legate de rezistența materialului, deformarea plastică trebuie făcută în mai multe etape (treceri). Determinarea numărului de treceri *n* se face pornind de la definirea gradului de reducere γ_i, dat de relația:

$$\gamma_i = \frac{S_i}{S_{i-1}}, \tag{5.74}$$

în care: S_i este secțiunea semifabricatului în etapa *i* de deformare.

Gradul de reducere în fiecare etapă este:

$$\gamma_1 = \frac{S_1}{S_0}; \gamma_2 = \frac{S_2}{S_1}; \gamma_3 = \frac{S_3}{S_2} = ... = \gamma_n = \frac{S_n}{S_{n-1}}. \tag{5.75}$$

De asemenea, gradul de reducere total γ_t este dat de relația:

$$\lambda_t = \frac{S_n}{S_0} = \frac{S_1}{S_0} \cdot \frac{S_2}{S_1} \cdot \frac{S_3}{S_2} \cdot ... \frac{S_n}{S_{n-1}} \tag{5.76}$$

sau

$$\gamma_t = \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3 \cdot ... \cdot \gamma_n = \frac{S_n}{S_0}. \tag{5.77}$$

Presupunând că gradul de reducere este același la fiecare trecere:

$$\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = ... = \gamma_n = \gamma_{med}, \tag{5.78}$$

relația (5.77) devine:

$$\gamma_{med}^n = \frac{S_n}{S_0}. \tag{5.79}$$

Logaritmând relația (5.79) se obține pentru numărul de treceri *n*,dat de relația:

$$n = \frac{\ln S_n - \ln S_0}{\ln \gamma_{med}}. \tag{5.80}$$

Observație. Legea prezintă o importanță practică deosebită, deoarece permite determinarea formei semifabricatului inițial și numărul de deformări necesar a fi aplicat în vederea obținerii configurației dorite, corespunzătoare cu

rolul funcțional.

5.3.4.4. Legea apariției şi echilibrării tensiunilor interne suplimentare

În timpul deformării plastice, în interiorul materialului apar tensiuni care se opun deformării (conform principiului acțiunii şi reacțiunii) şi care tind să se echilibreze reciproc.

Dacă se analizează deformarea cu forța *P*, a unui semifabricat cilindric (fig.5.15) în diferite secțiuni, se constată că, din cauza forțelor de frecare la interfața sculă de deformare-material deformat, deformațiile vor fi diferite pe secțiuni (suprafața S_1 va suferi o deformație mai mică decât suprafața S_2). Dacă se consideră aceste suprafețe apropiate, în timpul deformării, între ele există o influență reciprocă (suprafața S_2 va căuta să antreneze suprafața S_1, iar suprafața S_1 va căuta să frâneze deplasarea suprafeței S_2). În acest fel, pe suprafața S_2 vor apare tensiuni interioare, iar pe suprafața S_1, tensiuni interioare de întindere. Aceste tensiuni rămân în semifabricat şi după deformarea lui, însă ele se echilibrează ca mărime şi sens. Pe de altă parte, chiar şi în acelaşi plan (pe suprafețele S_1 sau S_2) tensiunile variază cu raza, ele fiind mai mari pe cercul de rază r_1 față de cercul de rază r_2.

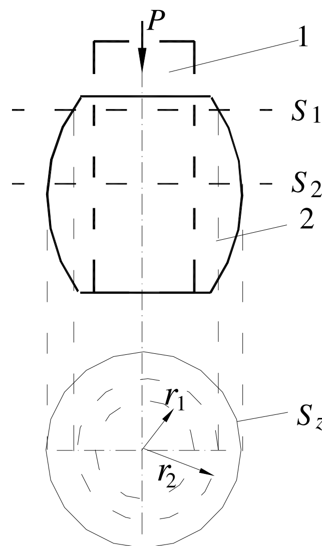


Fig. 5.15. Deformarea cu forța *P* a unui semifabricat cilindric:
1 – semifabricatul inițial; 2 – semifabricatul deformat; S_1, S_2 – secțiuni diferite; r_1, r_2 – razele unor cercuri diferite în acelaşi plan al secțiunii S_2.

De asemenea, grăunții cristalini deformați plastic caută să antreneze şi grăunții nedeformați, aceştia caută să frâneze deformarea pieselor, între ei apărând

tensiuni interioare de sens contrar, care se echilibrează după înlăturarea forței care a produs deformarea.

Prin urmare, cauzele apariției acestor tensiuni interioare se datorează acțiunii sculei, frecării la interfața sculă-material, încălzirii neuniforme a materialului, neomogenității compoziției chimice şi a proprietăților mecanice ale matrialului, frânării dislocațiilor etc.Tensiunile interne, produse şi rămase în piesă, se pot adăuga tensiunilor produse la prelucrările ulterioare sau în timpul exploatării ei, astfel încât se poate depăşi rezistența la rupere a materialului şi pot apărea de fisuri sau crăpături.

Observație. Legea are o mare importanță practică, deoarece permite stabilirea metodelor tehnologice de evitare, reducere sau înlăturare a tensiunilor interne suplimentare.

5.3.4.5. Legea similitudinii

În aceleaşi condiții de deformare, pentru două corpuri geometrice asemenea, cu aceeaşi compoziție chimică, aceeaşi structură şi aceleaşi caracteristici mecanice, presiunile specifice de deformare p_m şi respectiv p_f sunt egale între ele, raportul forțelor de deformare P_m şi respectiv P_f este egal cu pătratul raportului mărimilor liniare caracteristice l_m şi respectiv l_f, iar raportului lucrului mecanic necesar schimbării formei W_{fm} şi respectiv W_{ft} este egal cu cubul raportului mărimilor liniare caracteristice.

Legea se exprimă prin relațiile:

$$p_m = p_f ; \frac{P_m}{P_f} = \left(\frac{l_m}{l_f} \right)^2 ; \frac{W_{fm}}{W_{ft}} = \left(\frac{l_m}{l_f} \right)^3 , \qquad (5.81)$$

în care: indicele *m* se referă la model, iar indicele *f* se referă la piesa finită. Deoarece sunt greu de satisfăcut simultan toate condițiile de mai sus, legea se poate aplica folosindu-se anumiți coeficienți de corecție care să țină seama de factorul geometric şi factorul structural.

Observație. Legea prezintă importanță practică deosebită. deoarece permite proiectarea proceselor tehnologice de obținere prin deformare plastică a unor piese mari şi de configurații complexe folosind modele luate la o scară geometrică corespunzătoare.

5.4. FENOMENE CE ÎNSOȚESC PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR

Prelucrarea prin deformare plastică a unui material este însoțită de o serie de fenomene care afectează materialul supus prelucrării, modificându-i în mod

substanțial comportarea în timpul prelucrării ulterioare sau în timpul solicitărilor din exploatare. Principalele fenomene ce pot însoți deformarea plastică a unui material sunt: *creşterea compactității şi a greutății specifice; ecruisarea; recristalizarea, apariția structurii fibroase; anizotropia proprietăților funcționale şi tehnologice* etc.

5.4.1. Creşterea compactității şi a greutății specifice

Acest fenomen constă în închiderea şi eventual în sudarea unor defecte de material ca: microretasuri, fisuri, sufluri intercristaline, porozități etc. Această creştere a greutății specifice este cu atât mai mare cu cât defectele de material sunt mai numeroase, respectiv cu cât greutatea specifică a materialului sau aliajului turnat este mai mică în comparație cu cea reală. De exemplu, în cazul deformării plastice prin laminare a oțelului necalmat, greutatea specifică a acestuia creşte de la 6,90g/cm^3 la 7,85 g/cm^3. Dacă semifabricatul a mai fost deformat plastic înainte şi este lipsit de porozități, atunci printr-o nouă deformare plastică la rece el va acumula noi dislocații şi noi vacanțe, care vor conduce din nou la o creştere a volumului său, dar într-o cantitate neglijabilă.

În acelaşi timp cu creştrea compactității materialelor, în timpul deformării plastice la cald are loc şi un proces de modificare a structurii de turnare, în sensul alungirii grăunților cristalini şi a incluziunilor care în timpul solidificării s-au concentrat la limitele dintre grăunții primari.

5.4.2. Ecruisarea

Fenomenul de ecruisare apare numai în cazul prelucrării prin deformare plastică la rece şi constă în modificarea unor proprietăți mecanice ale materilaului deformat, în sensul creşterii rezistenței la rupere σ_r (fig.5.16) şi a durității *HB* şi scăderii proprietăților ce definesc plasticitatea materialului (alungirea relativă A_5, reziliența *KCU* şi gâtuirea relativă ψ_r). De asemenea, se modifică unele proprietăți fizice (conductibilitatea termică, greutatea specifică), unele proprietăți electrice (conductivitatea electrică) şi unele proprietăți chimice (rezistența la coroziune, oxidabilitatea). Pe lângă modificarea proprietăților funcționale ale materialului apar şi modificări de structură, în sensul alungirii şi a turtirii puternice a grăunților cristalini.

Fenomenul de ecruisare se poate explica uşor pornind de la existența dislocațiilor în materialul deformat plastic. Deoarece deformarea plastică are la bază fenomenul de mişcare a dislocațiilor, rezultă că ecruisarea este rezultatul frânării deplasării dislocațiilor de către piedici sau bariere, care se formează în materiale chiar în procesul deformării platice. Aceste bariere sunt în principal formații stabile de dislocații situate unele peste altele în plane de alunecare paralele.

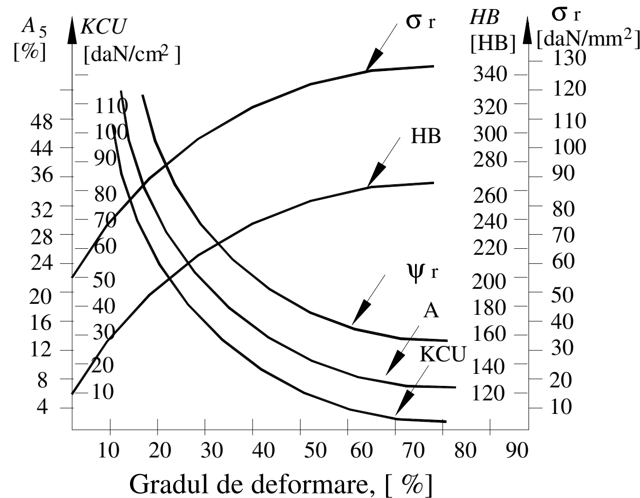


Fig. 5.16. Modificarea proprietăților mecanice în funcție de gradul de deformare.

Ecruisarea are o influență deosebită asupra plasticității materialului, experimental constatându-se că, la o anumită ecruisare (un anumit grad de deformare), plasticitatea scade în asemnea măsură, încât prelucrarea prin deformare plastică în continuare nu mai este posibilă din cauza rezistenței crescânde opuse de material şi a pericolului apariției crăpăturilor. Totuşi, prelucrarea prin deformare plastică este posibilă în continuare numai după o restabilire a plasticității materialului, obținută în urma unui tratament termic de recoacere de recristalizare.

Din punct de vedere practic, cunoaşterea fenomenului de ecruisare ajută la dirijarea procesului de deformare plastică şi determină o lărgire a gamei de utilizări a materialelor supuse deformării plastice. Astfel, fără apariția ecruisării nu ar fi posibile unele operații de prelucrare prin deformare, precum ambutisarea sau tragerea. Dacă zonele subțiate la ambutisare sau tragere nu s-ar durifica, materialul s-ar fisura şi s-ar rupe în aceste zone. Prin această ecruisare, respectiv durificare este împiedicată depăşirea locală a limitei de curgere, iar deformarea plastică poate continua din aproape în aproape.

În acelaşi timp, fenomenul de ecruisare poate fi folosit şi pentru creşterea proprietăților de rezistență ale unor metale şi aliaje moi cum sunt: aluminiul, cuprul, unele alame şi bronzuri, unele oțeluri inoxidabile etc. (tab.5.1).

5.4.3. Recristalizarea

Recristalizarea este fenomenul de bază care se produce la încălzirea materialelor ecruisate şi constă în reorganizarea rețelei deformate şi apariția unor noi centre de cristalizare. Prin recristalizare se elimină complet tensiunile interne,

constatându-se o micşorare a durității şi a rezistenței de deformare şi o mărire a plasticității. În timpul acestui proces se intensifică procesul de difuzie al atomilor în volumul grăunților cristalini, ceea ce contribuie la egalizarea chimică a grăunților neomogeni şi la înlăturarea microfisurilor ce apar în timpul deformării. În cazul metalelor pure recristalizarea are loc la o temperatură T_{rc}, dată de relația:

$$T_{rc} = 0{,}4T_{top}\,, \qquad (5.82)$$

în care: T_{top} este temperatura de torpire a metalului, exprimată în grade Kelvin.

Tabelul 5.1. *Influența ecruisării asupra unor proprietăți mecanice ale unor metale şi aliaje*

Nr. crt.	Materialul	Starea	Proprietăți		
			Rezistența la rupere σ_r [daN/mm^2]	Alungirea A_5 [%]	Duritatea *HB* [HB]
1	Cupru	recopt	20	45	38
		ecruisat	44	6	105
2	Aluminiu	recopt	8	42	20
		semiecruisat	11	15	29
		ecruisat	18	5	47
3	Alamă	recoaptă	27	50	80
		ecruisabilă	38	15	140
4	Oțel moale	recopt	42	31	130
		ecruisat	84	6	250
5	Oțel inoxidabil, cu 18% Cr şi 8%Ni	recopt	61	80	200
		ecruisat	182	5	650

Temperatura de recristalizare nu este o constantă a materialului, ea depinzând de numeroşi factori, cei mai importanți fiind conținutul în elemente de aliere şi gradul de deformare. Temperatura de recristalizare creşte o dată cu creşterea gradului de aliere (la oțelurile-carbon obişnuite T_{rc} = 450...600°C, iar la oțelurile aliate T_{rc} = 600...800°C) şi scade o dată cu creşterea gradului de deformare (fig.5.17). Gradul de deformare influențează recristalizarea şi în sensul existenței unui *grad critic de deformare,* sub care recristalizarea nu se mai poate produce (pentru oțeluri, gradul critic de deformare este de 8...12%).

Recristalizarea are o influență deosebită asupra rețelei cristaline, asupra formei şi dimensiunilor grăunților cristalini şi implicit asupra proprietăților funcționale şi tehnologice ale materialului. Proprietățile funcționale depind în primul rând de dimensiunile şi forma grăunților cristalini în sensul că o dată cu creşterea dimensiunilor grăunților (structură grosolană) proprietățile funcționale scad foarte mult. Dimensiunile grăunțiilor cristalini obținuți în urma recristalizării depind de temperatura la care are loc recristalizarea (fig.5.18. a), de mărimea gradului de deformare (fig.5.18. b), de durata de menținere la temperatura la care are loc recristalizarea (fig.5.18. c), de mărimea inițială a grăunților şi viteza de deformare.

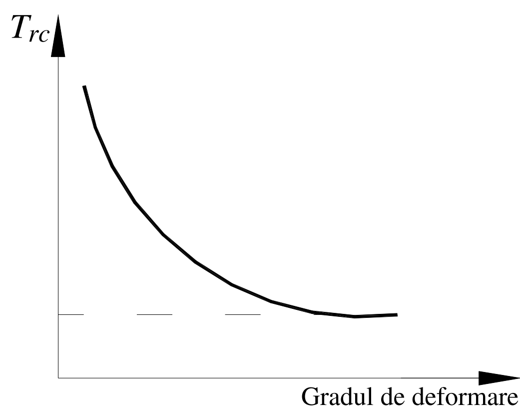


Fig. 5.17. Influența gradului de deformare asupra temperaturii de recristalizare T_{rc}.

5.4.4. Apariția structurii fibroase

Ca urmare a prelucrării prin deformare plastică la cald se constată că materialul capătă o macrostructură fibroasă, fibrele formate fiind orientate pe direcțiile de curgere ale materialului.

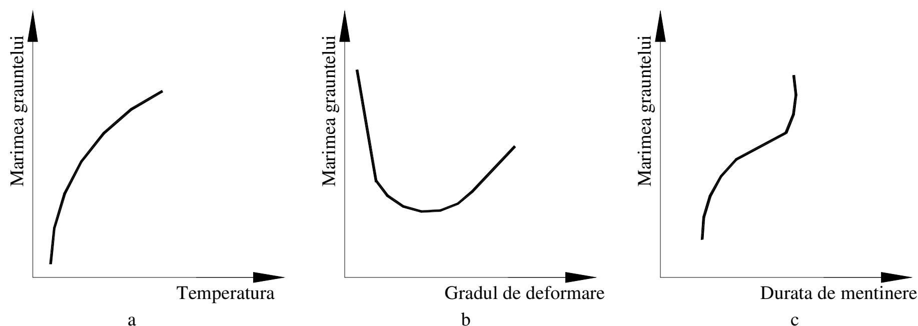


Fig. 5.18. Variația mărimii grăunților în funcție de:
a – temperatură; b – gradul de deformare; c – durata de menținere la temperatura de recristalizare.

Formarea structurii fibroase are următoarea explicație: în timpul deformării plastice, grăunții cristalini inițiali 1 (fig.5.19. a) se deformează alungindu-se puternic pe direcția de curgere a materialului, rezultând grăunții 2, puternic ecruisați (fig.5.19. b). Incluziunile nemetalice 3, aflate în structură vor suferi deplasări şi deformări asemănătoare rămânând la limitele dintre grăunții 4. Dacă deformarea plastică are loc la cald şi se produce recristalizarea, se vor forma noi grăunți cristalini 5 (fig.5.19. c). Incluziunile nemetalice nu mai sunt redistribuite,

ele rămân deformate şi orientate în direcția curgerii, împărțind materialul în fibre de curgere 6.

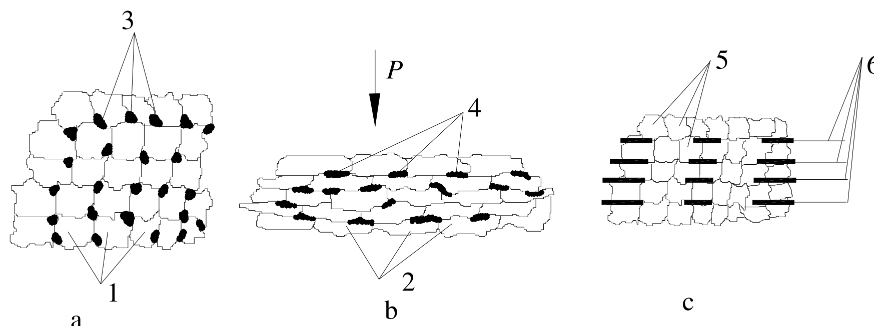


Fig. 5.19. Formarea structurii fibroase:
a – structură inițială; b – structură puternic ecruisată; c – structură recristalizată; 1 – grăunți inițiali; 2 – grăunți puternic alungiți (ecruisați); 3 – incluziuni nedeformate; 4 – incluziuni deformate; 5 – grăunți echiaxiali; 6 – fibre de curgere.

Structura fibroasă a metalului sau aliajului, rezultată în urma prelucrării prin deformare plastică la cald, nu poate fi modificată prin nici un tratament termic şi nici printr-o deformare plastică ulterioară (o deformare ulterioară poate modifica numai direcția fibrelor).

5.4.5. Modificarea proprietăților funcționale şi tehnologice

Ca urmare a fenomenelor care au loc în timpul deformării plastice, prezentate mai sus, metalele şi aliajele deformate, în comparație cu cele turnate îşi schimbă nu numai compactitatea, ci şi valorile proprietăților funcționale şi unele proprietăți tehnologice. Astfel, valorile rezistenței la rupere, alungirii, gâtuirii, rezilienței, plasticității şi durității se modifică pe măsura creşterii gradului de deformare. Proprietățile fizice (conductivitatea termică, greutatea specifică) cresc cu creşterea gradului de deformare, în timp ce proprietățile chimice (rezistența la coroziune, oxidabilitatea) scad. De asemenea, unele proprietăți electrice (conductivitatea electrică, inducția remanentă, inducția de saturație) scad, în timp ce altele (rezistența electrică, câmpul coercitiv) cresc cu creşterea gradului de deformare.

Unele proprietăți tehnologice (turnabilitatea, călibilitatea) cresc, în timp ce altele (deformabilitatea, uzinabilitatea, sudabilitatea) scad o dată cu creşterea gradului de deformare.

Creşterea proprietăților mecanice se datoreşte, pe de o parte, sudării defectelor de turnare şi compactizării materialului, iar, pe de altă parte, procesului de recristalizare, datorită căruia o parte din incluziunile nemetalice cu punctul de

topire mai scăzut şi rezistenţa de deformare mai slabă trec de la limitele grăunţilor primari în interiorul celor recristalizaţi, favorizând în acest fel alunecarea intracristalină şi împiedicând-o pe cea intercristalină.

După prelucrarea prin deformare plastică, materialul prezintă însă proprietăţi mecanice diferite, din cauza existenţei structurii fibroase: în direcţia longitudinală a fibrei acestea sunt mai bune decât în direcţie transversală. Diferenţa dintre valoarea proprietăţilor mecanice în direcţe longitudinală şi transversală se numeşte anizotropie A_z şi se exprimă prin raportul:

$$A_z = \frac{\psi_{tr}}{\psi_{en}} \qquad \text{sau} \qquad A_z = \frac{KCU_{tr}}{KCU_{en}} \tag{5.83}$$

sau prin indicele de anizotropie n_z, dat de relaţia:

$$n_z = \frac{1}{2}\left(\frac{\psi_{tr}}{\psi_{en}} + \frac{KCU_{tr}}{KCU_{en}}\right) \tag{5.84}$$

în care: ψ_{tr}; ψ_{en} reprezintă gâtuirea pe probe luate în direcţia transversală şi respectiv longitudinală faţă de direcţia fibrajului; KCU_{tr}; KCU_{en} – rezilienţa în direcţia transversală şi respectiv longitudinală.

Anizotropia prezintă importanţă practică deosebită în proiectarea pieselor şi în stabilirea tehnologiei de fabricaţie a acestora. Trebuie ţinut cont că eforturile de compresiune şi întindere, care apar în timpul solicitării piesei, trebuie să coincidă cu direcţia fibrelor, iar cele tangenţiale (de forfecare) trebuie să fie perpendiculare pe direcţia fibrelor (ştiut fiind că rezistenţa la rupere este maximă în direcţia fibrelor, iar rezistenţa la forfecare este maximă perpendicular pe fibre). Trebuie ţinut cont, de asemenea, de faptul că fibrele nu trebuie să se întretaie, ci să înfăşoare conturul piesei. De exemplu, pentru fabricarea unei supape s-ar putea utiliza fie prelucrarea prin aşchiere, plecând de la un semifabricat laminat (fig.5.20. a), fie finisarea prin aşchiere plecând de la un semifabricat apropiat ca formă de piesa finită, obţinut prin deformarea puternică a unei bare cilindrice (fig.5.20. b).

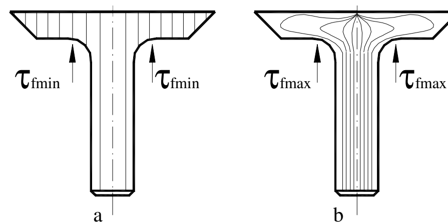


Fig. 5.20. Orientarea fibrelor într-o supapă:
a – obţinută prin aşchiere; b – obţinută prin deformarea plastică a capului barei laminate;
τ_f – rezistenţa la forfecare.

O supapă fabricată prin prima metodă nu poate funcționa într-un motor cu explozie, distrugându-se imediat ca urmare a unei defectuoase distribuiri a tensiunilor față de fibrele orientate într-o singură direcție şi întrerupte datorită prelucrării prin aşchiere (în zonle cele mai puternic solicitate rezistența la forfecare este minimă τ_{fmin}). O supapă obținută prin cea de a doua metodă va funcționa cu succes într-un motor cu explozie, deoarece în zonele puternic solicitate rezistența la forfecare este maximă τ_{fmax}. Acelaşi lucru se poate spune despre un bulon de fixare (fig.5.21), despre o roată dințată (fig.5.22), despre arborii cotiți, axele cu came, axele cardanice, planetare, tije de pompaj etc.

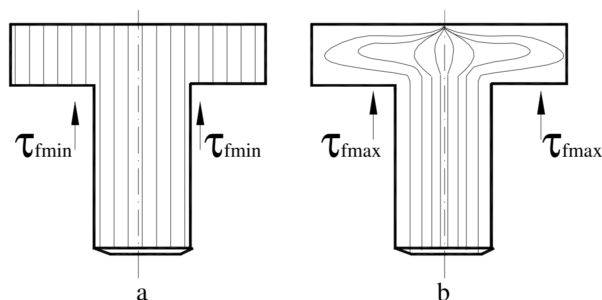


Fig. 5.21. Orientarea fibrelor într-un bulon:
a – obținut prin aşchiere; b – obținut prin deformarea plastică a capului unei bare laminate; τ_f – rezistența la forfecare.

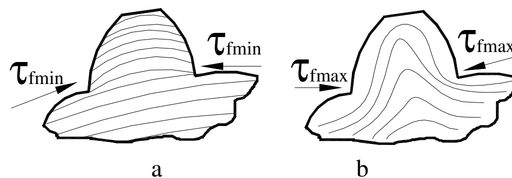


Fig. 5.22. Orientarea fibrelor într-un dinte de roată dințată:
a – obținută prin aşchiere; b – obținut prin deformarea plastică; τ_f – rezistența la forfecare.

5.5. ÎNCĂLZIREA MATERIALELOR METALICE ÎN SCOPUL PRELUCRĂRII PRIN DEFORMARE PLASTICĂ

5.5.1. Parametrii regimului termic al deformării

Materialele pot fi prelucrate uşor prin deformare plastică, dacă au o plasticitate bună şi o rezistență la deformare mică. La majoritatea materialelor utilizate în tehnică îmbunătățirea acestor condiții se poate realiza prin încălzire.

Experimental s-a constatat că la temperaturile la care are loc deformarea plastică la cald, rezistența la deformare scade de 8...12 ori, iar deformabilitatea crește de 3...6 ori (fig.5.23).

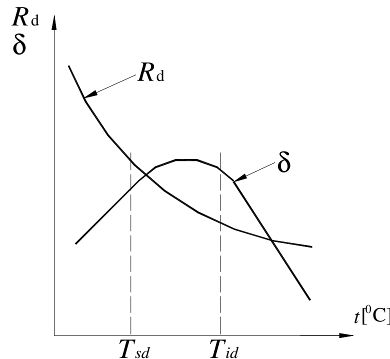


Fig. 5.23. Variația rezistenței la deformare R_d și a plasticității δ cu temperatura: T_{id} – temperatura de început de deformare; T_{sd} – temperatura de sfârșit de deformare.

În ultimul timp se extinde tot mai mult și deformarea plastică la rece, deoarece prin acest procedeu se obțin piese cu o precizie dimensională mai ridicată, calitate a suprafeței mai bună și proprietăți funcționale mai bune, dar nu poate fi aplicată decât la piese mici din materiale care au o rezistență relativ redusă și o deformabilitate ridicată.

Încălzirea materialelor în scopul prelucrării prin deformare plastică are mare importanță, deoarece calitatea produselor realizate depinde în primul rând de alegerea unui regim corect de încălzire. Încălzirea are drept scop:

- reducerea forțelor de deformare prin creșterea plasticității și scăderea rezistenței de deformare;
- reducerea greutății și a gabaritului utilajului folosit pentru deformare;
- obținerea unei structuri care să asigure o deformare ușoară și caracteristicile funcționale și tehnologice dorite;
- pierderi minime de material cu adaosurile de prelucrare și tehnologice.

Alegerea temperaturii optime de deformare și o încălzire uniformă a semifabricatului asigură:

- pierderi minime de material prin oxidare, ardere și decarburare;
- preîntâmpinarea apariției tensiunilor interne mari, a fisurilor și crăpăturilor posibile la grade mari de deformare;
- obținerea calității proiectate.

Încălzirea materialelor în scopul prelucrării prin deformare plastică se poate realiza în două moduri distincte:

- prin introducerea semifabricatului într-un mediu cald;
- prin introducerea căldurii în masa semifabricatului.

Cea mai răspândită metodă şi cea mai uşor de realizat este prima metodă şi constă în introducerea semifabricatului în spațiul de lucru al instalației de încălzire şi menținerea în acest spațiu un anumit timp necesar schimbului de căldură între mediul de încălzire şi semifabricat. În cazul acestei metode, principalii parametri ai regimului de încălzire sunt:

- intervalul de temperatură la care se poate face deformarea;
- viteza de încălzire;
- durata încălzirii;
- mediul de încălzire.

5.5.1.1. Intervalul de temperatură în care se poate face deformarea

Este specific fiecărui material şi este condiționat de mărimea gradului de deformare ce poate fi realizat fără să apară fisuri în timpul deformării şi de obținerea prin deformare a unei structuri proiectate. La încălzirea materialelor în scopul prelucrării prin deformare plastică există un interval de temperatură *admis* şi unul *tehnologic*. *Intervalul de temperatură admis* se stabileşte astfel încât rezistența de deformare să fie cât mai mică, iar deformabilitatea cât mai ridicată (fig.5.24).

Din punct de vedere al rezistenței la deformare R_d, tendința ar fi ca temperatura de început de deformare T_{id} să fie cât mai ridicată. Din punct de vedere al deformabilității, temperatura de început de deformare trebuie aleasă la valoarea la care deformabilitatea este maximă. Scăderea deformabilității la temperaturi mari este marcată de începutul creşterii excesive a mărimii grăunților şi a topirii la limitele intercristaline. Temperatura critică la care aceste fenomene încep să se producă intens este în funcție de material şi este la 150...300°C sub linia solidus. Prin urmare, ridicarea temperaturii de început de deformare admisă este limitată de fenomenul de supraîncălzire, care dă o structură grosolană sau chiar arderea materialului. Temperatura minimă admisă pentru deformare T_{sd} (temperatura de la sfârşitul deformării) este limitată de gradul de deformare ce se poate realiza la acea temperatură şi mai ales de structura care se doreşte să se obțină în urma deformării (ecruisată, recristalizată etc.). Alegerea temperaturii de la începutul deformării T_{id} şi de la sfârşitul deformării T_{sd} se face pentru fiecare material folosind o diagramă de forma celei prezente în figura 5.24. Se observă că, atunci când în urma deformării se urmăreşte obținerea unei structuri complet recristalizate, temperatura minimă de sfârşit a deformării trebuie să fie mai mare decât temperatura de recristalizare T_{rc}.

Mărimea intervalului de temperatură în care se poate face deformarea este în funcție de natura şi compoziția chimică a materialului încălzit în scopul prelucrării prin deformare plastică (tab.5.2).

Intervalul de temperatură tehnologic este acela la care are loc deformarea plastică propriu-zisă şi se determină în strânsă legătură cu timpul necesar pentru realizarea deformării şi cu durata răcirii semifabricatului de la temperatura începutului deformării la temperatura sfârşitului acesteia. Intervalul de temperatură

tură tehnologic trebuie să fie cuprins în intervalul de temperatură admis.

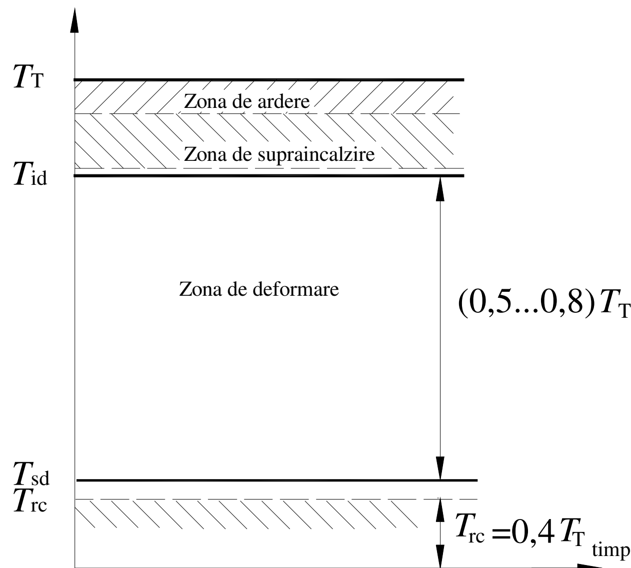


Fig. 5.24. Alegerea intervalului de temperatură în care se poate face deformarea plastică: T_T – temperatura de topire; T_{rc} – temperatura de recristalizare; T_{id} – temperatura de început de deformare; T_{sd} – temperatura de sfârşit de deformare.

5.5.1.2. Viteza de încălzire v_{inc}

Reprezintă creşterea temperaturii semifabricatului în unitatea de timp, exprimată în °C sau K/h sau K/s. Inevitabil, cu cât viteza de încălzire este mai mare cu atât productivitatea este mai mare. Pe de altă parte, viteza de încălzire nu poate fi mărită oricât, ea fiind limitată atât de caracteristicile materialului care se încălzeşte, cât şi de utilajele folosite pentru încălzire. Mărimea vitezei de încălzire este limitată de tensiunile termice interioare care apar în semifabricat în timpul încălzirii, din cauza neuniformităţii temperaturii pe secţiune (fig.5.25).

La încălzirea prin introducerea semifabricatului într-un mediu cald, părţile exterioare ale semifabriactului se încălzesc mai repede şi se dilată mai mult decât cele de la interior. Datorită acestui fenomen, pe secţiunea semifabricatului apar tensiuni interne de sens contrar. Evident că la diferenţe mari de temperatură, pe secţiunea semifabricatului vor apărea tensiuni termice de valori mari, care pot la un moment dat să depăşească rezistenţa la rupere a materialului încălzit şi să apară fisuri. De aceea, pentru ca în semifabricat să nu apară fisuri în timpul încălzirii, trebuie ca diferenţa de temperatură pe secţiunea acestuia să nu depăşească o anumită valoare limită ce determină şi viteza maximă de încălzire admisă pentru un semifabricat oarecare.

Tabelul 5.2. *Intervalul temperaturilor de deformare pentru câteva metale şi aliaje des întrebuințate*

Nr. crt.	Materialul	Intervalul de temperaturi de deformare	
		T_{id} [°C]	T_{sd} [°C]
1	OL 37; OL 42	1280	900
2	OL 50; OL 60; OL 70	1250	850
3	OLC 10; OLC 15; OLC 20; OLC 25; OLC 35; OLC 45	1200	850
4	OSC 7; OSC 8	1180	850
5	OSC 9; OSC 10; OSC 12	1150	850
6	45 Cr 10	1200	870
7	15 CrNi15; 13 CrNi35; 10 MoCr 10	1180	800
8	40 MoCrNi15	1150	850
9	ARC 1	1050	800
10	RUL 1	1150	850
11	Oțel rapid	1200	890
12	Oțel ausenitic	1150	900
13	Oțel feritic	1100	900
14	Oțel manganos	950	750
15	Al 99,5	480	850
16	Aliaj de Al cu 4%Cu; 0,5%Mg; 0,5%Mn	460	350
17	Aliaj de Al cu 2,2%Cu; 1%Mg; 1%Mn	470	350
18	Aliaj de Al cu 2,2%Cu; 1,3%Ni	480	380
19	Aliaj de Al cu 1,6%Cu; 2,4%Mg; 6%Zn	430	360
20	Cu 99,9	1000	400
21	Aliaj de Cu cu 6%Sn	900	780
22	Aliaj de Cu cu 9%Al	900	700
23	Aliaj de Cu cu 20%Zn	850	650
24	Aliaj de Cu cu 40%Zn	750	550
25	Aliaj de Ti cu 6,2%Al; 0,8%Fe; 3%Cr; 0,1%C; 0,2%O_2	1050	850
26	Aliaj de Ti cu 5,8%Al; 3,8%Mo; 0,1%C; 0,2%O_2	1100	850

În practică se întâlnesc trei viteze de încălzire:

- *viteza de încălzire admisibilă* este viteza ce poate fi atinsă la un semifabricat fără ca el să fie deteriorat în timpul încălzirii;
- *viteza de încălzire tehnic posibilă* este viteza pe are o poate realiza instalația de încălzire folosită;
- *viteza de încălzire reală* este viteza care se realizează în timpul încălzirii propriu-zise.

Din punct de vedere tehnologic interesează viteza de încălzire admisibilă v_a care se determină din condiția ca mărimea tensiunilor interne pe secțiune să nu depăşească rezistența la rupere a materialului şi are o expresie de forma:

$$v_a = \frac{8\lambda(1-\nu)}{\rho \cdot c \cdot E \cdot \alpha_0 \cdot R^2} \quad [°C] \ , \qquad (5.85)$$

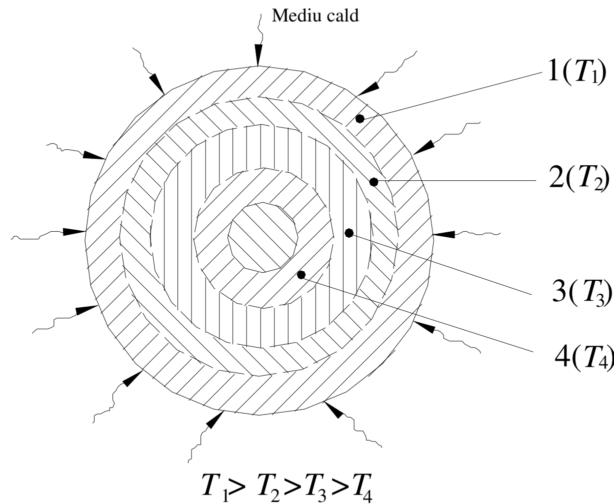


Fig. 5.25. Variația temperaturii pe secțiune:
1, 2, 3, 4 – straturile de material la temperaturile corespunzătoare T_1, T_2, T_3 şi respectiv T_4.

în care: λ este conductibilitatea termică, în J/mh°C; ν - coeficientul lui Poisson; ρ - densitatea materialului, kg/m^3; α_0 – coeficientul de dilatare liniară, în °C^{-1}; c – căldura specifică, în J/kg°C; E – modulul Young, în daN/mm^2; R – raza (semigrosimea) semifabricatului, în m.

Viteza de încălzire tehnic posibilă v_p este dată de schimbul de căldură ce se poate realiza între mediul de încălzire şi semifabricat.Ea se poate determina considerând că toată căldura transmisă de mediul de încălzire suprafeței semifabricatului este absorbită de acesta, adică:

$$\alpha(T_m - T_s)\cdot A_s = M_s \cdot c \cdot v_p \quad . \tag{5.86}$$

Din relația (5.86) se deduce viteza tehnic posibilă v_p:

$$v_p = \frac{\alpha(T_m - T_s)\cdot A_s}{M_s \cdot c} \quad [°C/h]\ , \tag{5.87}$$

în care: α este coeficientul de transmitere al căldurii, în J/m^{2}h°C; T_m - temperatura mediului de încălzire, în °C;T_s – temperatura semifabricatului, în °C; A_s – suprafața semifabricatului care vine în contact cu mediul de încălzire, în m^2; M_s – masa semifabricatului, în kg; c – căldura specifică, în J/kg°C.

Se constată că viteza de încălzire până la atingerea temperaturii de început de deformare depinde de natura materialului, capacitatea termică şi tipul instalației de încălzire, forma, dimensiunile şi modul de aşezare al semifabricatelor în mediul de încălzire.

Viteza reală de încălzire trebuie să fie mai mică decât viteza admisibilă şi, evident, decât viteza de încălzire tehnic posibilă.

5.5.1.3. Durata încălzirii

Durata încălzirii este dată de timpul necesar ajungerii semifabricatului la temperatura de început de deformare şi se exprimă în ore, minute sau secunde. Stabilirea duratei de încălzire este destul de dificilă, deoarece în timpul încălzirii variază foarte mulți factori (căldura specifică, temperatura semifabricatului, coeficientul de transmitere al căldurii etc.). Teoretic, durata încălzirii τ se poate determina pornind de la ecuația schimbului de căldură dintre semifabricat şi mediul de încălzire, scrisă sub forma:

$$\alpha(T_m - T_s)\cdot A_s \cdot \mathrm{d}\tau = M_s \cdot c \cdot \mathrm{d}t\,, \qquad (5.88)$$

din care rezultă:

$$\mathrm{d}\tau = \frac{M_s \cdot c}{\alpha \cdot A_s}\cdot\frac{\mathrm{d}t}{T_m - T_s}\,. \qquad (5.89)$$

Considerându-se α constant şi că temperatura semifabricatului T_s variază de la temperatura inițială T_{is} la temperatura de început de deformare T_{id}, prin integrarea relației (5.89) rezultă:

$$\tau = \frac{M_s \cdot c}{\alpha \cdot A_s}\cdot \ln\frac{T_m - T_{is}}{T_m - T_{id}} \ \ [\mathrm{h}], \qquad (5.90)$$

în care: M_s este masa semifabricatului, în kg; c – căldura specifică a materialului încălzit, în J/kg°C; α - coeficient de transmitere a căldurii, în J/m^{2}h°C; A_s – suprafața semifabricatului care vine în contact cu mediul de încălzire, în m^2; T_m – temperatura mediului de încălzire.

Pentru determinarea rapidă a duratei încălzirii, în practică se utilizează relații empirice de forma:

$$\tau = k_1 \cdot k_2 \cdot d\sqrt{d} \ \ [\mathrm{h}], \qquad (5.91)$$

în care: k_1 = 10...20 este un coeficient ce ține cont de masa semifabricatelor care se încălzesc (valori minime pentru semifabricate cu masa sub 2 500 kg şi valori maxime pentru semifabricate cu masa peste 2 500 kg); k_2 = 1...4, coeficient ce ține cont de modul de aşezare a semifabricatelor pe vatra cuptorului (fig.5.26); d – dimensiunea principală a semifabricatului, în m.

Considerațiile de mai sus sunt valabile pentru cazul în care temperatura mediului de încălzire este constantă. În cazul în care temperatura mediului de încălzire este variabilă sau încălzirea se face în mai multe trepte, durata încălzirii este mai greu de determinat şi trebuie să se țină cont de condițiile concrete în care

are loc încălzirea.

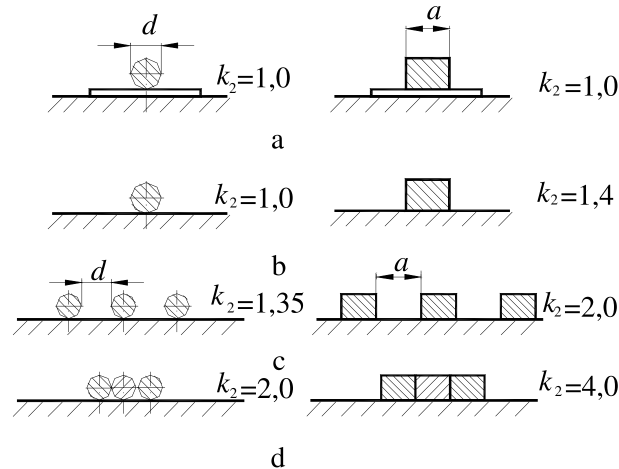


Fig. 5. 26. Valorile coeficientului de corecție k_2 în funcție de modul de aşezare a semifabricatelor pe vatra cuptorului:
a – singulare pe suport; b – singulare pe vatră; c – grup de un rând aşezate la distanța *d*, respectiv *a*; d – grup compact de un rând aşezat pe vatră.

5.5.1.4. Mediul de încălzire

Mediul de încălzire este dat de amestecul de gaze exitent în spațiul de lucru al instalației de încălzire. El trebuie astfel ales încât să nu favorizeze apariția defectelor de suprafață prin oxidare sau decarburare şi să permită chiar îmbunătățirea unor proprietăți ale materialului. Mediul de încălzire se alege în funcție de natura materialului semifabricatului (tendința acestuia de oxidare), de precizia impusă operației de deformare, de costul materialului, tipul instalației de încălzire etc. Mediul de încălzire folosit poate fi:

- *obişnuit*, cu caracter oxidant, rezultat în urma arderii complete a combustibilului în exces de aer;
- *neutru,* cu atmosferă controlată, rezultat al menținerii în echilibru a componentelor gazoase O_2, CO_2, SO_2, H_2O, H_2, CH_4, N_2, CO, SO_2, H_2S etc.,cu materialul încălzit, în aşa fel încât să nu se producă oxidarea sau decarburarea;
- *inert* (de regulă în curent de argon);
- *special,* care are introduse controlat anumite elemente ce permit nu numai creşterea performanțelor instalației de încălzire, ci şi o serie de avantaje pentru materialul încălzit (de exemplu, prin introducerea litiului în atmosferă controlată se realizează eliminarea completă a pierderilor de material prin oxidare, micşorarea coeficientului de frecare, datorită formării unui strat subțire de oxid de litiu pe suprafața semifabricatelor şi creşterea durabilității sculelor folosite la deformare).

5.5.2. Instalații folosite la încălzire în scopul prelucrării prin deformare plastică

Instalațiile folosite la încălzire în scopul prelucrării prin deformare plastică trebuie să realizeze un consum minim de combustibil convențional sau de energie pentru încălzirea unei tone de material, reduceri însemnate ale pierderilor de material prin oxidare şi prin încălziri succesive, precum şi reducerea la minimum a decarburării straturilor superioare ale materialului supus încălzirii.

Toate aceste condiții trebuie îndeplinite în oricare etapă a procesului de încălzire-răcire, cu posibilitatea unui control adecvat al procesului, a unui reglaj comandat sau autocomandat şi a unor comenzi foarte uşoare.

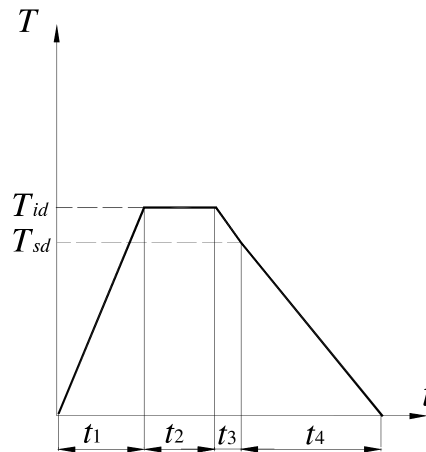


Fig. 5.27. Diagrama de încălzire-răcire în procesul de deformare plastică.

Diagrama de încălzire-răcire în procesul de deformare plastică (fig.5.27) diferă de la material la material, iar instalația de încălzire trebuie să permită o realizare foarte uşoară şi rapidă a oricărui tip de diagramă. Se observă că se face o încălzire până la temperatura de început de deformare T_{id} într-un interval de timp t_1 cu o anumită viteză de încălzire. Are loc o menținere a temperaturii la temperatura de început de deformare un anumit timp t_2 în scopul uniformizării încălzirii materialului. În timpul deformării propriu-zise (t_3) temperatura scade de la valoarea T_{id} la valoarea T_{sd} (temperatura de sfârşit de deformare), care trebuie să fie mai mare sau cel puțin egală cu temperatura de recristalizare. Urmează apoi timpul de răcire (t_4), ce constă în răcirea materialului de la temperatura de sfârşit de deformare până la temperatura mediului ambiant şi depinde de mediul de răcire ales.

În funcție de căldura folosită, instalațiile se clasifică după schema din figura 5.28.

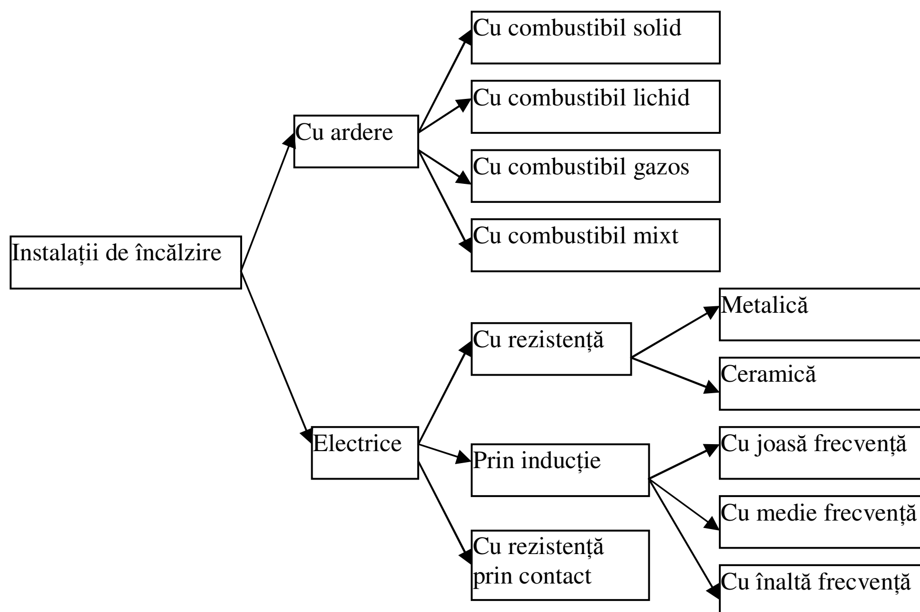


Fig. 5.28. Clasificarea instalațiilor de încălzire utilizate la prelucrarea prin deformare plastică.

5.5.2.1. Instalații de încălzire (cuptoare) cu ardere

Folosesc ca sursă de încălzire a mediului de încălzire o flacără rezultată din arderea unui combustibil solid, lichid sau gazos. Cuptoarele cu flacără se clasifică, în funcție de modul de distribuire a temperaturilor în spațiul de lucru, în două grupe mari, şi anume:

- *cuptoare cu temperatură constantă* în tot spațiul de lucru, denumite şi *cuptoare cu cameră*. Cuptoarele cu cameră (fig.5.29) se pot construi cu vatră fixă sau mobilă. La aceste cuptoare temperatura se poate varia în limite strânse prin modificarea cantității de combustibil ars în focar. Pentru a se micşora pierderile prin oxidare, produse datorită contactului dintre semifabricat şi gazele arse, se pot utiliza *cuptoare cu muflă* (fig.5.29. b), cuptoare cu camere suplimentre pentru arderea completă a gazelor sau cuptoare cu atmosferă controlată.

Mufla este confecționată dintr-un aterial refractar şi protejează semifabricatele de acțiunea directă a mediului de încălzire;

- *cuptoare cu temperatură crescătoare* de la locul de încărcare a semifabricatului spre locul de descărcare, denumite *cuptoare cu propulsie.* Cuptoarele cu propulsie (fig.5.30) sunt utilizate în czul producției de serie mare sau de masă, deoarece pot realiza o productivitate deosebit de ridicată.

Încălzirea semifabricatelor 1, se face treptat prin deplasarea lor pe vatra 2 a cuptorului, sub acțiunea împingătorului 3,în zone ale cuptorului încălzite diferit.

Ele parcurg treptat zona de preîncălzire 4, zona de încălzire 5 şi zona de egalizare a temperaturii 6 în toată masa semifabricatului. Parcurgerea acestor zone se poate face prin împingerea sau prin căderea liberă pe un plan înclinat (*la cuptoarele cu vatră fixă*) sau deplasându-se odată cu vatra cuptorului (*la cuptoarele cu vatră mobilă*). Dacă vatra mobilă a cuptorului este circulară, cuptorul poartă denumirea *de cuptor cu propulsie de tip carusel.*

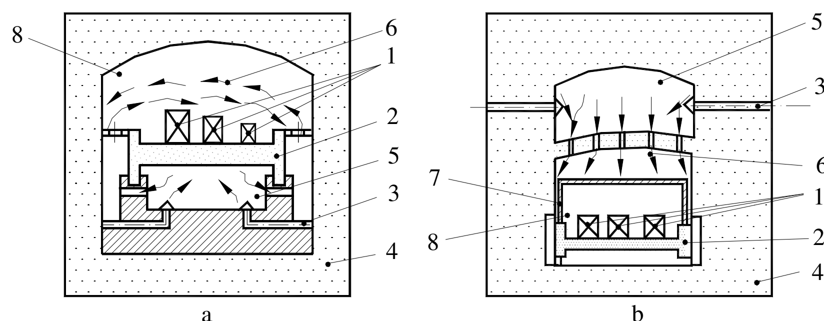


Fig. 5.29. Cuptoare cu flacără întrebuințață la încălzirea în scopul prelucrării prin deformare plastică: a – cu focar interior; b – cu focar superior şi muflă; 1 – semifabricate; 2 – vatră; 3 – injectoare; 4 – cuptorul propriu-zis; 5 – focar; 6 – mediul de încălzire; 7 – muflă; 8 – camera de încălzire.

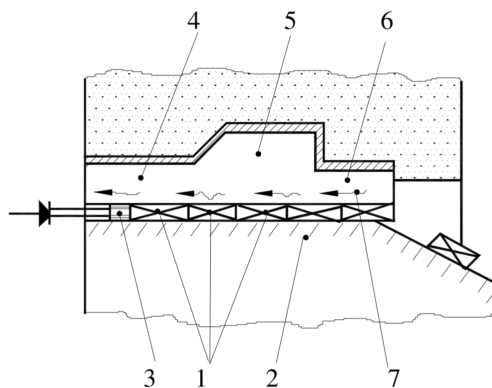


Fig. 5.30. Cuptor cu flacără cu propulsie:
1- semifabricate; 2 – vatra cuptorului; 3 – împingător; 4 – zona de preîncălzire 5 – zona de încălzire; 6 – zona de egalizare a temperaturii; 7 – mediul de încălzire.

5.5.2.2. Instalații de încălzire (cuptoare) electrice

Folosesc ca sursă de încălzire a mediului de încălzire efectul caloric al curentului electric. *Cuptoarele cu rezistențe electrice* pot fi prevăzute cu o

rezistență metalică în formă de spirală, înfăşurată în jurul camerei cuptorului (fig.5.31. a), sau cu rezistențe ceramice (bare de silică), amplasate în partea de sus sau pe pereții laterali ai camerei de încălzire (fig.5.31. b). Temperaturile realizate în cuptoarele electrice cu rezistențe ceramice sunt mai ridicate decât în cele cu rezistențe metalice, putându-se încălzi şi semifabricatele din oțel.

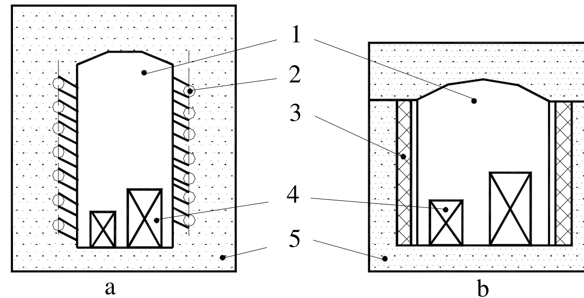


Fig. 5.31. Instalațiile electrice de încălzire:
a – cu rezistențe metalice; b – cu rezistențe ceramice; 1 – spațiul de încălzire; 2 – rezistență metalică; 3 – rezistență ceramică (bare de silită); 4 – semifabricate; 5 – camera de încălzire.

Instalațiile de încălzire prin inducție se construiesc în funcție de configurația geometrică a semifabricatelor de încălzit (fig.5.32). La aceste instalații, în scopul încălzirii, semifabricatele sunt amplasate în câmpul de acțiune al unui *inductor* confecționat din țeavă de cupru, răcită forțat cu apă. Încălzirea prin inducție a semifabricatelor cu diametru mai mare de 150mm se face cu curenți de frecvență industrială, iar a celor de diametre mai mici se face cu curenți de înaltă frecvență $(10^4...10^6)$Hz.

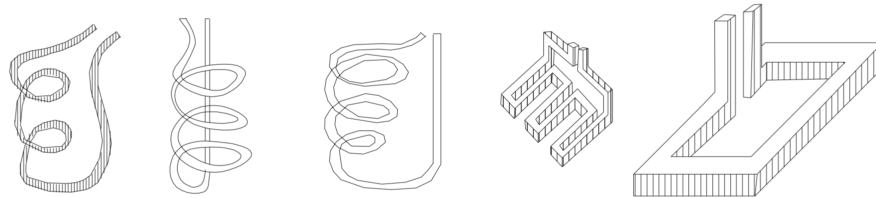


Fig. 5.32. Diferite tipuri de inductori.

Instalațiile de încălzire cu rezistență electrică prin contact se utilizează pentru încălzirea semifabricatelor de forma barelor (∅≤ 70,0mm), prin prinderea lor între două contacte electrice şi trecerea prin ele a unui curent de mare intensitate. Căldura se produce pe baza rezistenței ohmice a materialului supus încălzirii.

În general, încălzirea electrică a semifabricatelor prezintă o serie de avantaje față de încălzirea cu flacără, astfel:

- asigură reglarea precisă a temperaturilor prin modificarea curentului electric de alimentare;
- asigură pierderi prin oxidare mult mai mici;
- nu poluează mediul înconjurător;
- permit o uşoară automatizare;
- asigură durate minime de încălzire (de ordinul secundelor sau minutelor) şi consum mai mic de energie echivalentă;
- permit o uşoară optimizare a parametrilor regimului de încălzire în scopul deformării plastice.

Observație. Din punct de vedere economic efectul încălzirii se răsfrânge asupra prețului de cost al produselor obținute prin deformare plastică prin: consumul de combustibil şi energie, durata ciclului de încălzire şi pierderile de material prin oxidare. De aceea, alegerea metodei de încălzire şi a tipului instalației de încălzire se face în funcție de: natura materialului semifabricatului; forma şi mărimea semifabricatului; valorile parametrilor regimului termic necesar (temperatura de început şi de sfârşit de deformare, viteza de încălzire, durata încălzirii, mediul de încălzire) şi productivitatea ce se vrea realizată.

5.5.3. Defecte posibile la încălzire

Defectele ce pot apărea în piesele obținute prin deformare plastică la cald sunt rezultatul nerespectării regimului termic al deformării. Factorii care pot produce defecte în piesele deformate plastic la cald sunt: depăşirea vitezei admisibile de încălzire, depăşirea temperaturii de început de deformare, nerespectarea duratei încălzirii şi alegerea neadecvată a mediului de încălzire. Ca urmare a acestor factori pot apărea:

- defecte cauzate de *depăşirea vitezei admisibile de încălzire,* ce constau în tensiuni termice interne importante şi fisuri pe secțiune. Acestea apar din cauza neuniformității temperaturii pe secțiune (fig.5.25) şi o dată apărute compromit piesa obținută prin deformare plastică, deoarece nu pot fi înlăturate în urma procesului de deformare. Sunt specifice semifabricatelor de dimensiuni mijlocii şi mari, unde variația pe scțiune a temperaturii este mare. Pentru a evita acest tip de defecte trebuie avută în vedere o corelație între viteza admisibilă de încălzire şi productivitatea ce se vrea realizată la încălzire;
- defecte cauzate de *depăşirea temperaturii de început de deformare,* ce constau în apariția unor structuri de supraâncălzire cu proprietăți funcționale scăzute. Prin depăşirea temperaturii de început de deformare, grăunții devin foarte mari, impuritățile difuzează la marginea grăunților şi materialul devine foarte fragil, apărând pericolul fisurării chiar la deformarea la cald. Un material supraîncălzit are fragilitate ridicată şi la temperatura obişnuită, deci calitatea

pieselor realizate în aceste condiții este foarte slabă. Trebuie ținut cont şi de faptul că nu toate materialele sunt la fel de sensibile la supraîncălzire;

- defecte legate de *depăşirea duratei de încălzire*, ce constau în obținerea unor proprietăți funcționale inacceptabile în piesa deformată plastic. Acesta este rezultatul creşterii exagerate a mărimii grăunților şi obținerea unei structuri grosolane, tot ca urmare a fenomenului de supraîncălzire. Depăşirea duratei de menținere în instalația de încălzire trebuie deci evitată, deoarece are influență defavorabilă nu numai asupra calității semifabricatului, respectiv a piesei obținute prin deformare, ci şi asupra consumului specific de combustibil şi energie şi asupra productivității;

- defecte cauzate de *alegerea neadecvată a mediului de încălzire*, ce constau în pierderi mari de material prin ardere şi implicit nerespectarea preciziei dimensionale. De asemenea, în cazul oțelurilor poate apare *decarburarea* la suprafața semifabricatului, ce conduce la înrăutățirea proprietăților funcționale nu numai ale semifabricatului ci şi a piesei obținută prin deformare plastică la cald.

Observație. Pentru evitarea apariției defectelor de încălzire este necesar a respecta cu strictețe viteza admisibilă de încălzire, intervalul de temperaturi în care se desfăşoară deformarea plastică, durata minimă necesară menținerii semifabricatelor în instalațiile de încălzire şi alegerea mediului de încălzire în concordanță cu natura materialului semifabricatelor.

5.6. MATERIALE PRELUCRABILE PRIN DEFORMARE PLASTICĂ. CLASIFICAREA PROCEDEELOR DE PRELUCRARE PRIN DEFORMARE PLASTICĂ

5.6.1. Materiale prelucrabile prin deformare plastică

Dacă în urmă cu 30...40 ani, pentru prelucrarea prin deformare plastică erau consacrate numai anumite metale şi aliaje – cele cu caracteristici de plasticitate şi deformabilitate ridicată – în prezent se cere şi deformarea plastică a unor metale şi aliaje greu deformabile – cu proprietăți de plasticitate şi deformabilitate foarte scăzute. Prin urmare, datorită proprietăților funcționale bune ce rezultă în urma deformării, acum se pune mai ales problema de a găsi o tehnologie adecvată de prelucrare prin deformare plastică a oricărui material, pentru a se obține piese cu caracteristicile funcționale proiectate.

Deşi numărul de metale şi aliaje ce pot fi deformate plastic este foarte mare, totuşi principala materie primă utilizată în secțiile de prelucrare prin deformare plastică este formată din oțelurile carbon şi cele aliate (în proporție de peste 80%). În funcție de destinația şi dimensiunile pieselor ce se obțin prin deformare plastică, oțelurile folosite în secțiile de deformare se prezintă sub formă de lingouri cu secțiuni diferite, de laminate diferite (blumuri, brame, tagle, profile)

sau semifabricate obținute prin turnare.

În secțiile de prelucrare prin deformare plastică, al doilea loc îl ocupă metalele şi aliajele neferoase (în proporție de peste 15%). Dintre metalele şi aliajele neferoase utilizate în secțiile de deformare cele mai frecvent întâlnite sunt:

- *cuprul şi aliajele sale* (bronzuri, alame), ce pot fi deformate atât la rece, cât şi la cald şi din care se execută atât semifabricate sub formă de bare, țevi, profile, sârme, table etc., cât şi piese finite cu bună rezistență la coroziune (cuzineți, arcuri, piese de uz casnic, piese utilizate în electrotehnică şi electronică etc.);

- *aluminiul şi aliajele sale*, ce pot fi deformate atât la rece, cât şi la cald şi din care se execută semifabricate sub formă de bare, țevi, profile, table etc., dar şi piese finite utilizate în industria bunurilor de larg consum, aeronautică, electrotehnică şi electronică etc.;

- *magneziul şi aliajele sale,* ce pot fi deformate atât la rece, cât şi la cald, comportarea lor la deformare depinzând în primul rând de compoziția chimică, de conținutul de impurități şi gaze şi de aspectul macroscopic al structurii lingoului.

Evident că în secțiile de deformare plastică se mai prelucrează şi alte materiale, dar, spre deosebire de cele enumerate, au o utilizare mult mai restrânsă (sub 5%). În această categorie intră acele materiale cu proprietăți cu totul diferite, cerute de lucrul în condiții de temperaturi foarte joase sau foarte înalte, la viteze mari şi cu productivități sporite (materiale superplaste, superdure, compozite inteligente etc.).

5.6.2. Clasificarea procedeelor de prelucrare prin deformare plastică

Procedeele de prelucrare prin deformare plastică se pot clasifica luând în considerare mai multe criterii:

- după viteza de deformare se deosebesc:
    - *cu viteze mici de deformare* (pentru viteze de deformare $v_d < 10$m/s);
    - *cu viteze mari de deformare* (pentru viteze de deformare $v_d \geq 10$m/s);
- după temperatura la care se desfăşoară procesul de deformare se deosebesc:
    - *deformarea plastică la rece*, când deformarea este însoțită de fenomenul de ecrisare fără recristalizare;
    - *deformare plastică la cald*, atunci când recristalizarea se produce complet, fără urme de ecruisare;
- după natura operației de deformare se deosebesc:
    - *de degroşare;*
    - *de prefinisare;*

- *de finisare* etc.

- după calitatea suprafeței produselor deformate se deosebesc:
  - *de eboşare;*
  - *de calibrare;*
  - *de finiție;*

- după schema de deformare se clasifică în conformitate cu schema din figura 5.33.

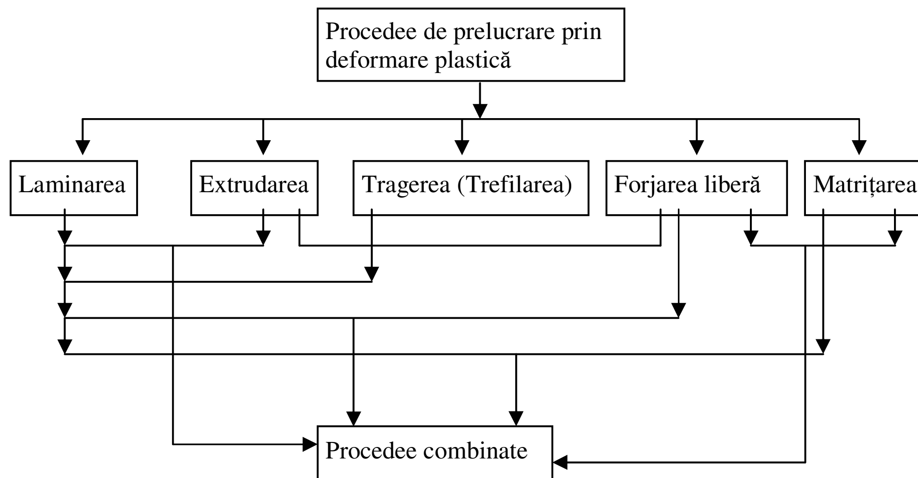


Fig. 5.33. Clasificarea proceedelor de prelucrare prin deformare plastică după schema de deformare.

5.7. LAMINAREA

5.7.1. Definire. Scheme de principiu

Laminarea este procedeul de prelucrare prin deformare plastică, la cald sau la rece, ce se realizează prin trecerea forțată a materialului prin intervalul dintre doi sau mai multi cilindri care se rotesc în sens contrar sau în acelaşi sens, antrenând prin frecare materialul în zona in care are loc deformarea (fig. 5.34).

Utilajul pe care se efectuează deformarea se numeşte *laminor*, procesul de deformare - *laminare*, iar produsele rezultate **–** *laminate*.

În funcție de sensul de rotație al cilindrilor şi modul de deformare se deosebesc următoarele scheme de laminare: *laminarea longitudinală* (fig.5.32.a); *laminarea transversală* (fig.5.34.b) şi *laminarea elicoidală* (fig.5.34.c). Semifabricatul inițial 1 (de obicei, de lungime l_0 sau diametru D_0), lățime b_0 şi grosime h_0, este antrenat între cilindri 2 şi 3 ai laminorului, rezultând în final pro-

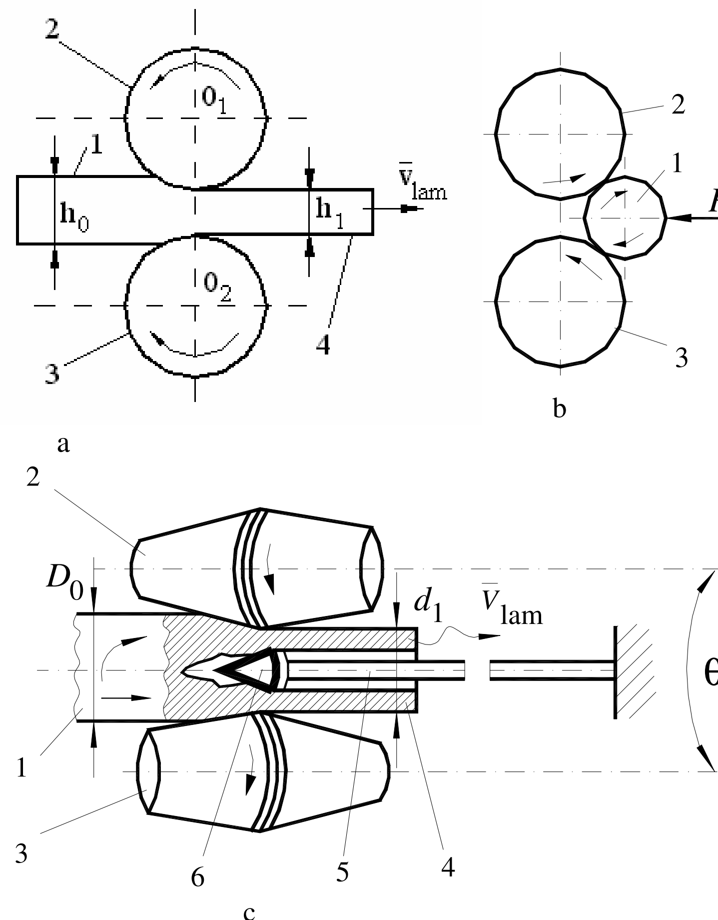


Fig. 5.34. Scheme de principiu la laminare.
a – laminarea longitudinală; b – laminarea transversală; c – laminarea elicoidală: 1 – semifabricatul inițial; 2;3 – cilindrii laminorului; 4 - produsul laminat; 5 – tija portdop; 6 - dopul perforator; θ - unghiul de înclinare al cilindrilor; v_{lam} - viteza de laminare.

dusul laminat 4, de dimensiuni l_1, b_1, h_1 sau diametru d_1. La laminarea elicoidală se folosește o tijă portdop 5 și un dop perforator 6, care are rolul de a uniformiza grosimea pereților țevii în timp ce semifabricatul are o mișcare elicoidală.

În timpul procesului de laminare, în semifabricatul inițial, se produc:

- *modificări dimensionale* ce constau în:
  - o micșorare (reducere) a grosimii: $\Delta h = h_0 - h_1$;
  - o oarecare lățire: $\Delta b = b_0 - b_1$;
  - o mărire a lungimii: $\Delta l = l_1 - l_0$;

- *modificări structurale* ce constau în variaţia structurii materialului (fig.5.35) astfel: structura iniţială, rezultată în urma turnării, formată din grăunţi grosolani 1 este deformată pe măsura antrenării între cilindri rezultând o structură ecruisată 2, dacă laminarea se face la rece.

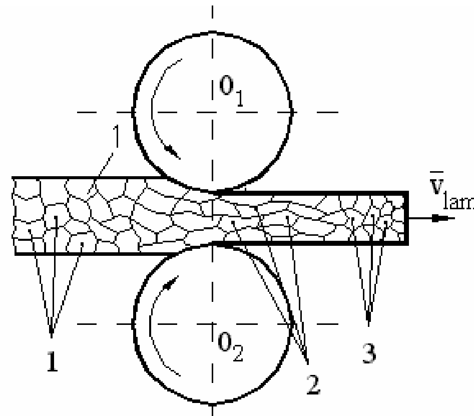


Fig. 5.35. Modificarea structurii materialului laminat:
1 – grăunţi iniţiali; 2 - grăunţi deformaţi; 3 - grăunţi recristalizaţi.

Dacă laminarea se face la cald, se produce fenomenul de recristalizare şi grăunţii puternic deformaţi se refac, rezultând o structură de echilibru cu grăunţi mici 3 şi caracteristici funcţionale şi tehnologice îmbunătăţite.

Laminarea, ca procedeu tehnologic, are următoarele scopuri:

- să transforme materialul (lingoul turnat sau semifabricatul iniţial) în profile de secţiune dorită, din care pot fi prelucrate ulterior piese finite sau pot fi folosite direct în construcţii industriale şi civile, instalaţii sau alte ramuri ale economiei;

- să schimbe structura grosolană rezultată în urma turnării într-o structură fină cu caracteristici funcţionale şi tehnologice bune.

5.7.2. Materiale prelucrabile prin laminare. Semifabricate iniţiale şi produse obţinute

Datorită proprietăţilor bune ce le poate imprima materialului şi datorită costului scăzut, laminarea prezintă o importanţă deosebită pentru economie (peste 90% din cantitatea de oţel elaborată, precum şi o parte din metalele şi aliajele neferoase se prelucrează prin laminare). Prin laminare se pot prelucra materialele metalice şi nemetalice cu proprietăţi de plasticitate (oţeluri, neferoase, nemetalice, combinaţii), atunci când se doreşte obţinerea de piese lungi, cu secţiunea constantă pe toată lungimea sau variabilă după anumite cerinţe, care nu pot fi obţinute prin

alte procedee.

Ca semifabricate inițiale se folosesc lingourile turnate sau blocurile (barele) turnate continuu, din care se obțin fie semifabricate laminate folosite la prelucrări ulterioare, fie produse laminate finite. Câteva din produsele laminate cu aplicabilitate mai largă în economie se prezintă în figura 5.36, deosebindu-se:

- *semifabricatele laminate* obținute direct din lingourile turnate sau blocurile (barele) turnate continuu:
  - *blumurile* (fig.5.36. a), care au secțiunea pătrată cu latura de 150 ...400 mm şi lungimea de 1 200...6 000 mm;
  - *țaglele,* care au secțiunea pătrată cu latura de 40...140 mm sau dreptunghiulară cu grosimea de 35...70 mm, lățimea de 140...280 mm şi lungimi de 1500...12000 mm;
  - *sleburile* (fig.5.36. b), care au secțiunea dreptunghiulară cu grosimea de cel puțin 70 mm, lățimea de 120...1 800 mm şi de lungime de maximum 6 500 mm;
  - *platinele*, care au secțiunea dreptunghiulară cu grosimea de 6...70 mm, lățimea 200...280 mm şi lungimea de maximum 6000 mm;
- *produsele laminate* obținute din semifabricatele laminate în urma unor laminări ulterioare:
  - *barele* de diferite secțiuni (fig.5.36. c) şi diferite lungimi;
  - *tablele, benzile* şi *platbenzile* (fig.5.3. d) care pot fi groase (cu grosimea s = 4...60 mm şi lungimea 600...3 000 mm) sau subțiri (cu grosimea s = 0,2...4,0 mm şi lungimea 600...3 000 mm). O variantă a tablelor subțiri o constituie *foliile,* care au grosimea s < 0,25 mm folosite în industria electronică, electrotehnică, uşoară şi, mai ales, alimentară (se pot obține folii de Zn cu grosimea $s \geq 0{,}05$ mm; de Sn, cu $s \geq 0{,}007$ mm; de Al, cu $s \geq 0{,}005$ mm sau de alamă, cu $s \geq 0{,}0005$ mm);
  - *sârmele* (fig.5.36. e), care au diametrul de 6 ... 20 mm sau chiar mai mult pentru unele calități de oțel beton, cu suprafața netedă sau striată;
  - *țevile* (fig.5.36. f), cu diametrul exterior de 5...426 mm şi grosimea peretelui de 0,5...40 mm (există şi variante de țevi sudate cu grosimea pereților de maximum 14 mm şi cu diametrul exterior de până la 3 000 mm);
  - *profilele cu configurație simplă* (fig.5.36. g): cornier cu aripi egale, cornier cu aripi inegale, profil „U”, profil „I”, profil „T”, profil şină de cale ferată, profil şină de tramvai etc.;
  - *profilele cu configurație complexă* (fig.5.36. h) cu destinație precizată (stâlpi de susținere pentru construcții civile, pentru hale industriale, palete de turbină, pentru automobile şi tractoare etc.);
  - *bilele pentru rulmenți* (fig.5.36. i) cu diametre de 3…60 mm;
  - *profile speciale* (fig. 5.36. j) de tipul bandajelor, inelelor, roților dințate, flanşelor etc.;

- *profilele speciale* (fig.5.3. k) din care se obţin piese a căror secţiune variază repetându-se periodic după o anumită distanţă, numită pas şi notată cu *p*.

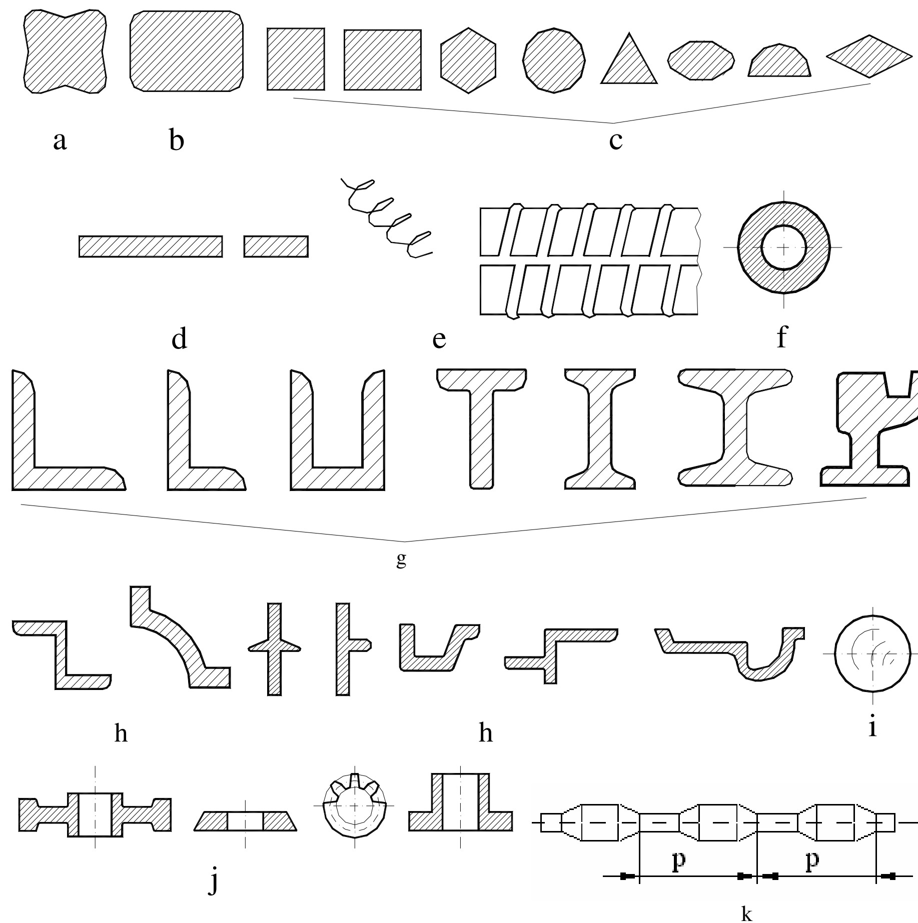


Fig. 5.36. Diferite tipuri de laminate:
a; b – semifabricate laminate (blumuri, ţagle, sleburi, platine); c – bare de diferite secţiuni; d – table, benzi, platbenzi; e – sârme netede sau striate; f – ţevi; g – profile simple (cornier cu aripi egale, cornier cu aripi inegale, profil U, profil I, profil T, şină de cale ferată, şină de tramvai etc.); h – profile complexe (stâlpi de susţinere pentru construcţii civile, pentru hale industriale, pentru automobile şi tractoare etc); i – bile pentru rulmenţi; j – profile speciale (bandaje, inele, toţi dinţate, flanşe etc.); k – profile periodice (axe, nituri buloane etc.)

Produsele laminate se utilizează direct sau pot fi semifabricate pentru celelalte procedee de prelucrare (extrudare, tragere, forjare, matriţare, sudare,

aşchiere etc.), astfel că laminarea este procedeul tehnologic ce face legătura dintre metalurgia extractivă şi cea prelucrătoare.

5.7.3. Bazele teoretice ale laminării

Antrenarea continuă a materialului între cilindri şi modificarea dimensiunilor acestuia se realizează prin prezenţa unei forţe de deformare F_d (fig.5.37) şi a frecării de contact F_f, dintre materialul care se prelucrează şi suprafa-

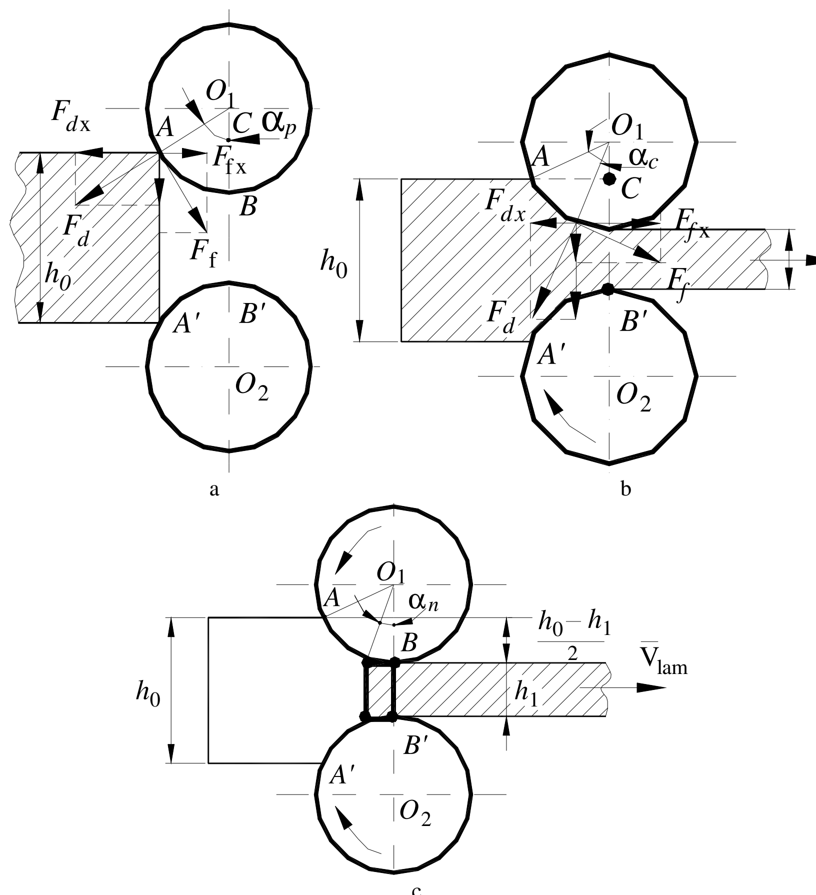


Fig. 5.37. Fazele procesului de laminare şi condiţiile de laminare:
a - prinderea materialului între cilindri (condiţia de prindere); b - reducerea propriu-zisă (condiţia de stabilitate); c - desprinderea laminatului dintre cilindri: α_p – unghiul de prindere, α_c – unghiul de contact, α_n – unghiul de desprindere; *AB* – arcul de contact, *AC* – lungimea de contact, $h_0 - h_1/2$ – reducerea medie, F_d – forţa de deformare; F_f – forţa de frecare.

ța de lucru a cilindrilor (arcul de prindere sau de contact *AB*). În timpul procesului de laminare materialul trece prin mai multe faze:

- *prinderea materialului între cilindri* (fig.5.37. a) începe când materialul a atins cilindrii (punctul *A* şi unghiul de prindere α_p) şi se termină în momentul umplerii spațiului dintre cilindri (zonei de deformare);

- *reducerea propriu-zisă* (fig.5.37. b) caracterizată prin constanța mărimilor α_c şi Δh ($\Delta h = h_0 - h_1$ este reducerea absolută);

- *micşorarea reducerii şi desprinderea* laminatului dintre cilindri (fig.5.37. c) când α_c şi Δh devin zero.

Pentru ca procesul de laminare să se desfăşoare trebuie respectate două condiții.

5.7.3.1. Condiția de prindere

Se determină destul de greu deoarece, în această fază, pe măsura umplerii spațiului dintre cilindri, condițiile de deformare se schimbă continuu (este faza nestabilă a procesului). De aceea se determină condiția de prindere în următoarele ipoteze: ambii cilindri au diametre şi turație egală, au aceeaşi stare a suprafeței, asigură acelaşi coeficient de frecare la interfața cilindru – material de deformat, cilindri nu suferă deformații în timpul prelucrării şi materialul de deformat este omogen. Prin contactul materialului de deformat cu cilindri laminorului care se rotesc între aceştia apare o interacțiune (materialul exercită o presiune *p* asupra cilindrilor iar cilindri acționează asupra acestuia cu o forță egală şi de sens opus) F_d (fig.5.37. a*)*. Simultan, datorită diferenței dintre viteza materialului de deformat şi a cilindrilor, apar forțe de frecare F_f, care acționează tangențial la suprafața cilindrilor şi perpendicular pe F_d. Prinderea semifabricatului de către cilindri se realizează dacă:

$$F_{fx} > F_{dx} \text{ sau } F_f \cos\alpha_p > F_d \sin\alpha_p . \qquad (5.102)$$

Ținând cont de legea Amonton – Coulomb ($F_f = \mu F_d$) se obține:

$$\mu F_d > F_d \,\text{tg}\alpha_p \text{ sau } \mu > \text{tg}\alpha_p , \qquad (5.103)$$

în care: μ este coeficientul de frecare la interfața material de deformat – cilindru de laminor.

Dacă se ia în considerare tangenta unghiului de frecare β ($\mu \approx \text{tg}\beta$), atunci condiția de prindere devine:

$$\alpha_p < \beta , \qquad (5.104)$$

deci antrenarea materialului între cilindri se realizează la un unghi de prindere α_p mai mic decât unghiul de frecare.

5.7.3.2. Condiția de stabilitate

După îndeplinirea condiției de prindere, pe măsura umplerii zonei de deformare cu materialul de deformat şi trecerea la faza procesului stabilizat, poziția forței de deformare F_d (fig. 5.37. b) se va deplasa spre planul de ieşire. Presupunând repartizarea uniformă a presiunii de contact pe lungimea zonei de deformare, atunci forța de deformare F_d poate fi considerată ca acționând concentrat în punctul M, situat la jumătatea arcului de contact AB, deci α_c devine egal cu $\alpha_p/2$.

În mod analog, laminarea se poate realiza dacă:

$$F_{fx} > F_{dx}\ , \tag{5.105}$$

care devine

$$F_f \cdot \cos\frac{\alpha_p}{2} > F_d \cdot \sin\frac{\alpha_p}{2}\ . \tag{5.106}$$

Ținând cont că $F_f = \mu F_d$ şi că procesul este stabilizat, rezultă condiția

$$\mu F_d \cos\frac{\alpha_p}{2} > F_d \sin\frac{\alpha_p}{2} \quad \text{sau} \quad \mu > \operatorname{tg}\frac{\alpha_p}{2}\ . \tag{5.107}$$

Trecând la unghiul de frecare, se obține

$$\operatorname{tg}\beta > \operatorname{tg}\frac{\alpha_p}{2} \quad \text{sau} \quad \alpha_p < 2\beta\ , \tag{5.108}$$

ceea ce demonstrează că procesul stabilizat se realizează în conditii mult mai sigure decât faza de prindere.

Unghiul de prindere α_p se poate determina din ΔABC pornind de la relația:

$$O_1C = O_1B - BC, \text{ adică } \ R\cos\alpha_p = R - \frac{h_0 - h_1}{2}\ , \tag{5.109}$$

de unde rezultă

$$\cos\alpha_p = 1 - \frac{h_0 - h_1}{2D}\ , \tag{5.110}$$

în care: D este diametrul cilindrului de laminare.

Dacă în relația (5.110) se înlocuieşte $1 - \cos\alpha = 2\sin^2\frac{\alpha}{2}$ şi se admite că $\sin\frac{\alpha}{2} \approx \frac{\alpha}{2}$, rezultă pentru reducerea absolută Δh o expresie de forma:

$$\Delta h = h_0 - h_1 = 2D\left(\frac{\alpha_p}{2}\right)^2 = R \cdot \alpha_p^{\;2} \ . \tag{5.111}$$

Din analiza relației (5.111) rezultă că, odată cu creşterea unghiului de prindere α_p creşte şi reducerea Δh, deci productivitatea laminorului, dar experimental se constată că unghiul α_p nu poate depăşi anumite valori (α_p = 22º…24º, pentru cilindri netezi şi α_p = 30…32º, pentru cilindri calibrați).

În majoritatea cazurilor, pentru obținerea unui profil de secțiune dată S_n, este necesar ca semifabricatul inițial, de secțiune S_0, să treacă prin laminor de *n* ori, după o micşorare prealabilă a distanței dintre cilindri. Cunoscând gradul de reducere r_i, după fiecare trecere, dat de relația

$$r_i = \frac{S_i}{S_{i-1}} \ , \tag{5.112}$$

se pot determina secțiunile intermediare

$$S_1 = r_1 \cdot S_0;\ S_2 = r_2 \cdot S_1;\ S_3 = r_3 \cdot S_2;\ \dots\ S_n = r_n \cdot S_{n-1} \ . \tag{5.113}$$

Din considerente de rezistență a materialului se admite că gradul de reducere este acelaşi în fiecare trecere, adică:

$$r_1 = r_2 = r_3 = \dots = r_n = r \ . \tag{5.114}$$

Gradul de reducere total r_t, dat de relația:

$$r_t = r_1 \cdot r_2 \cdot r_3 \cdot \dots \cdot r_n = \frac{S_n}{S_0} \ , \tag{5.115}$$

devine în aceste condiții:

$$r^n = \frac{S_n}{S_0} \ , \tag{5.116}$$

de unde, prin logaritmare, se obține numărul de treceri *n* cu relația:

$$n = \frac{\ln S_n - \ln S_0}{\ln r} . \tag{5.117}$$

Modul de deformare al materialului în procesul de laminare depinde foarte mult de raportul dintre lungimea de contact *AC* şi reducerea absolută Δh (fig. 5.38), deosebindu-se:

- cazul când $AC < \Delta h/2$ (fig. 5.38. a) şi materialul se deformează numai la suprafață, zona din mijloc rămânând nedeformată şi mult în urma stratului de suprafață deformat. În acest caz este îndeplinită condiția:

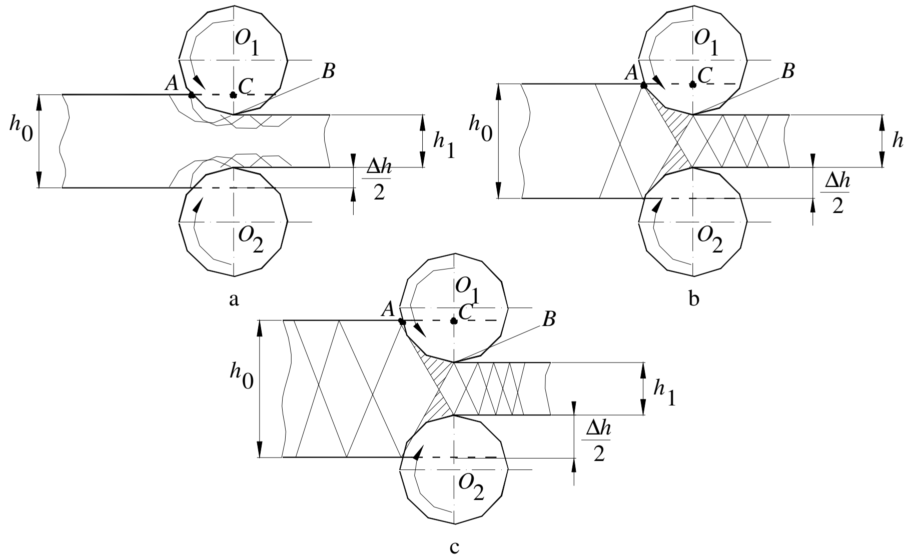


Fig. 5.38. Diferite moduri de deformare a materialului la laminare:
a – cazul când $AC < \Delta h/2$; b – cazul când $AC = \Delta h/2$; c - cazul când $AC > \Delta h/2$: AC – lungimea de contact, AB - arcul de contact; $\Delta h = h_0 - h_1$.

$$P_c < P_{td} < P_L, \tag{5.118}$$

în care: P_c este puterea real consumată; P_{td} – puterea teoretică necesară deformării plastice în întreaga masă a semifabricatelor; P_L – puterea instalată a laminorului.

Acest caz este indicat a se folosi la laminarea țevilor sau la uniformizarea dimensiunilor lingourilor;

- cazul când $AC = \Delta h/2$ (fig. 5.38. b) şi deformarea se produce în toată masa semifabricatului, directiile de alunecare fiind orientate la 45°. Din punct de vedere energetic în acest caz este îndeplinită condiția:

$$P_c = P_{td} < P_L. \tag{5.119}$$

Este cazul ideal de lucru.

- cazul când $AC > \Delta h/2$ şi deformarea se produce în toata masa semifabricatului existând zone de deformare suprapuse deoarece direcțiile de alunecare sunt orientate la unghiuri diferite, mai mari de 45°.

Din punct de vedere energetic se poate scrie relația:

$$P_c > P_{ld} < P_L. \tag{5.119}$$

În acest caz laminarea este neeconomică deoarece se consumă o putere mai mare decât cea teoretic necesară deformării.

5.7.4. Utilajul folosit la laminare

Laminorul este, în cazul cel mai simplu, maşina care execută deformarea plastică propriu–zisă a materialului între cilindri. În cazul general, laminorul este sistemul de maşini care realizează atât procesul de deformare plastică, deseori în mai multe stadii, cât si operaţiile ajutătoare, necesare la fabricarea produselor laminate, începând şi terminând cu controlul şi ambalarea în vederea livrării către beneficiar.

Utilajul laminorului care serveşte la deformarea plastică a materialului între cilindri se numeşte utilaj de bază sau *cajă de laminare*, iar utilajele destinate pentru efectuarea celorlalte operaţii se numesc *maşini şi mecanisme auxiliare ale laminorului.* Schema de principiu a unei caje de laminare se prezintă în figura 5.39.

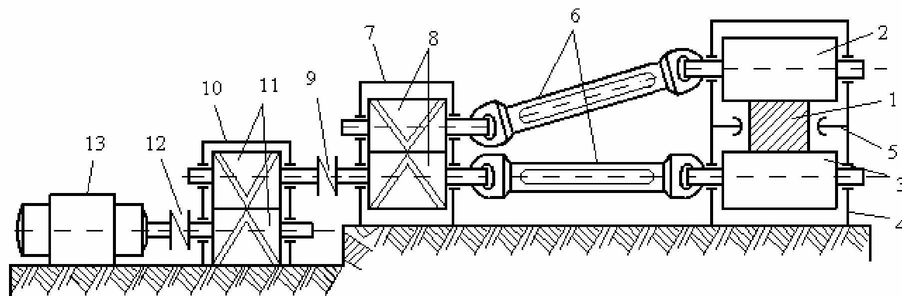


Fig. 5.39. Schema de principiu a unei caje de laminare:
1 – semifabricat; 2, 3 - cilindri de laminare; 4 - cadrul de susţinere ; 5 – dispozitive de reglare ; 6 - bare de cuplare; 7 – cutia roţilor de angrenare; 8, 11 - roţi dinţate danturate în V; 9, 12 - cuplaje elastice; 10 - reductor, 13 – motor electric asincron.

Semifabricatul 1 este prins de cilindrii de laminare 2 şi 3 aşezaţi pe cadrul de susţinere 4. Ghidarea semifabricatelor se face cu ajutorul unui sistem de ghidare 5, iar poziţionarea cilindrilor se face cu ajutorul unor mecanisme de reglaj şi poziţionare. Cilindrii de laminor primesc mişcarea de rotaţie prin intermediul barelor de cuplaj 6, roţilor dinţate 8, danturate in V, din cutia 7, a reductorului 10, cu roţile dinţate 11, danturate în V şi cuplajelor elastice 9 şi 12, de la motorul de curent alternativ, asincron 13. Motorul poate avea o putere de 30 … 1 500 (5 000) kW, în funcţie de destinaţia şi productivitatea laminorului. Cilindrii de laminare sunt principala sculă care execută deformarea plastică a materialului. Un cilindru se compune din (fig. 5.40) partea activă sau *tăblia* 1, două reazeme sau *fusuri* 2 şi părţile de cuplare sau *rozetele* 3.

Cilindrii se execută din fontă sau oţeluri aliate având la suprafaţă o crustă dură cu rezistenţă la uzură ridicată şi miezul de tenacitate înaltă. Tăblia cilindrului poate fi *netedă* sau *calibrată* (profilată) în funţie de destinaţia laminorului. *Calibrul* este conturul secţiunii ferestrei de trecere a laminatului, formată prin suprapunerea

canalelor celor doi cilindri. Calibrele pot fi *deschise* (fig. 5.41. a), *parțial închise* sau *închise* (fig. 5.41. b).

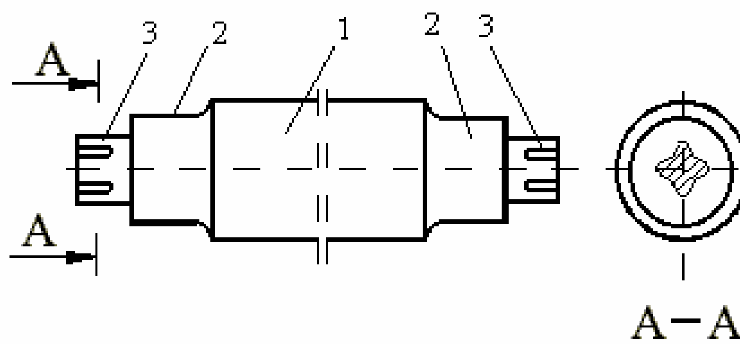
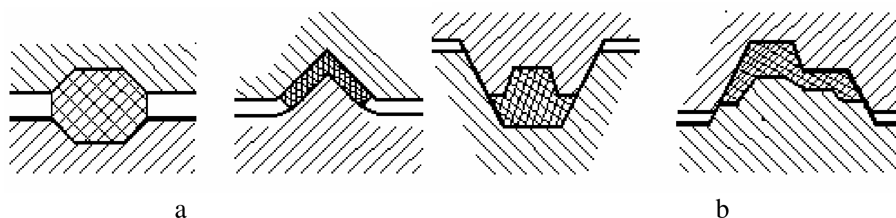


Fig. 5.40. Schema cilindrului de laminor:
1 – tăblie; 2 – fusuri; 3 - trefle de cuplare.



a b

Fig. 5.41. Tipuri de calibre:
a – deschise; b – închise.

Prin *calibrare* se înțelege calculul şi construcția formelor secțiunilor succesive ale calibrelor, astfel că plecând de la secțiunea inițială a semifabricatului să se ajungă la secțiunea produsului finit. Prin calibrare se urmăreşte: laminarea cu un număr minim de treceri, obținerea cu cât mai puține defecte a produsului laminat finit, uzura minimă a cilindrilor, productivitatea ridicată etc. În functie de destinatia lor calibrele pot fi: *degrosisoare, pregătitoare, prefinisoare, finisoare, de spintecare, de profilare* etc.

O anumită profilare a acestor calibre formează *sistemele de calibrare,* ca de exemplu: pătrat – romb, pătrat – oval, romb – romb şi altele. Calibrele pregătitoare servesc atât pentru micşorarea suprafeței secțiunii, cât şi pentru prelucrarea profilului în vederea apropierii sale treptate de dimensiunile şi forma finală. Calibrele finisoare prelucrează profilul la dimensiunile şi forma finală a secțiunii, dimensiunile acestora fiind identice cu dimensiunile secțiunii finale la temperatura de sfârşit de laminare. Schema de principiu a unor sisteme de calibrare pentru obținerea unor produse simple se prezintă în figura 5.42.

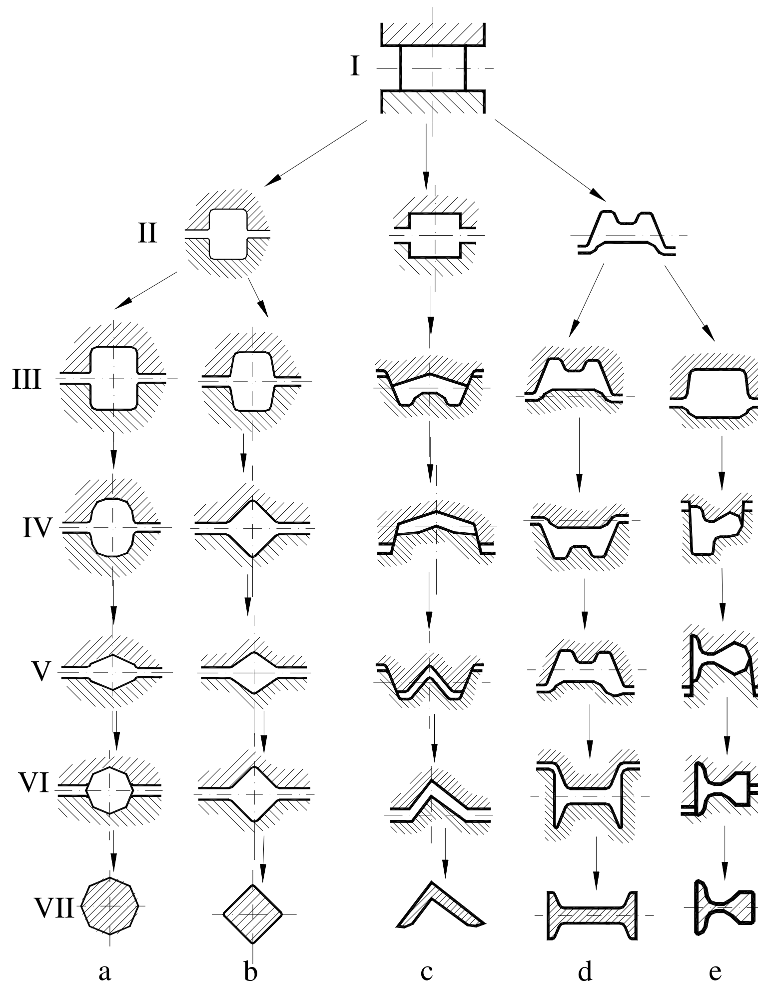


Fig. 5.42. Schema de principiu a unor sisteme de calibrare pentru obţinerea:
a – unei bare cu secţiune rotundă; b – unei bare cu secţiune pătrată; c – unui profil cornier cu aripi egale; d – unui profil I; e – unui profil şină de cale ferată; I, II – calibre degrosisoare, III - calibre pregătitoare, IV - calibre pregătitoare - prefinisoare, finisoare, de spintecare, de profilare; V – calibre prefinisoare; VI - calibre finisoare; VII - secţiunea produsului laminat finit.

5.7.5. Clasificarea laminoarelor

Laminoarele se clasifică după mai multe criterii, astfel:

- după tipul metalului sau aliajului prelucrat:
    - laminoare pentru oţel;

  - laminoare pentru Cu;
  - laminoare pentru Al;
  - laminoare pentru aliaje de zinc etc.
- după temperatura de lucru:
  - laminoare pentru prelucrarea la cald;
  - laminoare pentru prelucrarea la rece;
- după sensul de rotație al cilindrilor de lucru:
  - laminoare ireversibile;
  - laminoare reversibile;
- după poziția cilindrilor în caja;
  - cu cilindrii orizontali;
  - cu cilindrii verticali;
  - cu cilindrii dispuşi oblic;
  - orizontali şi verticali (universale) etc.;
- după sistemul de organizare al cajelor de lucru;
  - cu o singură caja;
  - cu caje multiple;
  - cu trenuri de laminare etc;
- după destinație;
  - laminoare degrosisoare (bluminguri etc.);
  - laminoare pentru profile;
  - laminoare pentru tablă;
  - laminoare pentru țevi;
  - laminoare pentru bile;
  - laminoare cu destinație specială etc.
- după natura operației;
  - laminoare pentru degroşare;
  - laminoare pentru finisare;
  - laminoare pentru calibrare.

O clasificare a laminoarelor după schema cajei de lucru se prezintă în tabelul 5.4.

5.7.6. Defectele produselor laminate

Prin defect de laminare se înțelege orice abatere de la dimensiunile, forma, masa, aspectul exterior, microstructura sau proprietățile funcționale prevăzute de standarde, norme tehnice sau condiții contractuale.

Defectele produselor laminate pot proveni:

- de la turnarea lingourilor, folosite apoi la laminare;
- de la nerespectarea tehnologiei de laminare.

Defectele care provin de la laminare pot avea următoarele cauze:

Tabelul 5.4. *Clasificarea laminoarelor*

Nr. Cr.	Schema montării cilindrilor	Denumirea cajei de lucru şi principiul functional	Utilizare
0	1	2	3
1		Caja duo-ireversibilă are doi cilindri orizontali situaţi în acelaşi plan vertical. Materialul este trecut printre cilindri pe direcţia I. Se înapoiază peste cilindrul superior pe direcţia II şi e introdus din nou între cilindri.	- profile grele (blumurii, grinzi, şine, tablă groasă) - tablă subţire
2		Caja duo-reversibilă are posibilitatea de a inversa sensul de rotaţie al cilindrilor şi de a deplasa cilindrul superior după fiecare trecere cu distanţa *e*.	- laminarea la rece tablelor şi benzilor
3		Caja trio are trei cilindri orizontali situaţi în plan vertical care laminează materialul în ambele sensuri fără inversarea sensului mişcării de rotaţie a cilindrilor.	- grinzi; - şine; - sârme; - blumuri; - profile grele; - table groase, mijlocii şi uneori subţiri
4		Caja dublu duo are 4 cilindri orizontali situaţi în două plane verticale diferite. Înlătură dezavantajele cajei trio.	- profile mijlocii; - profile uşoare
5		Caja quarto are 4 cilindri orizontali situati în acelasi plan, doi cilindri de lucru 1 şi 2, şi doi cilindri de sprijin 3 şi 4. Cilindri de sprijin măresc rigiditatea şi robustetea cajei.	Pentru laminarea la cald şi la rece a: - tablelor - platbandelor - benzilor

Tabelul 5.4. (*continuare*)

0	1	2	3
6		Caja sexto sau cu mai mulţi cilindri are doi cilindri de lucru 1 şi 2, restul (2…20) sunt cilindri de sprijin. De obicei cilindrii de sprijin sunt liberi.	Laminarea la rece a tablelor şi benzilor foarte subţiri
7		Caja planetară are doi cilindri antrenaţi şi două sisteme de cilindri care se rotesc în jurul cilindrilor de sprijin 1 şi 2.	Laminarea benzilor şi platbandelor
8		Caja universală are perechi de cilindri orizontali şi verticali în vederea limitării lăţirii materialului.	- platbande; - ţagle; - profile; - brame.
9		Caja periodică are cilindrii cu calibre variabile pe curbe elicoidale şi se rotesc în acelasi sens.	- laminarea bilelor cu diametrul de 18…60 mm; - bile pentru rulmenţi; - profile periodice
10		Laminor pentru roţi dinţate. O taglă rotundă şi încălzită 1 se supune unei laminări transversale între cilindrii 2 şi 3, calibraţi corespunzător formei dintelui de angrenare.	- roţi dinţate
11		Laminor pentru bandaje şi inele. Cilindrii laterali sunt tronconici pentru egalizarea vitezelor periferice.	- bandaje; - inele de rulmenţi; - coroane dinţate mari

- încălzirea incorectă a lingourilor;
- reglarea necorespunzătoare a cilindrilor laminorului;
- calitatea inferioară a ghidajelor şi instalarea necorespunzătoare a lor;
- uzura pronunţată a calibrelor;
- regim termic de încălzire şi de răcire necorespunzător după laminare.

Principalele defecte care provin din nerespectarea tehnologiei de laminare:

- *bavurile* (fig. 5.43) sunt proeminenţe relativ înguste şi prelungite în lungul produsului laminat, pe ambele părţi sau numai pe o parte.

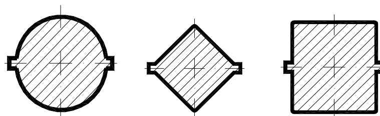


Fig. 5.43. Secţiuni prin produse laminate cu bavuri.

Cauzele apariţiei bavurilor sunt:

- supraumplerea calibrului datorită unei lăţiri prea mari din calibrul anterior;
- reducerea prea mare în calibrul în care se formează bavura;
- fălcile de ghidare sau axul cutiei de ghidare cu role sunt deplasate faţă de axa calibrului.

Posibilităţile de evitare a apariţiei bavurilor constau în:

- reducerea saltului în calibrul sau calibrele anterioare celei în care s-a format bavura;
- micşorarea reducerii în calibrul în care s-a format bavura;
- deplasarea fălcilor de ghidare sau cutiei de ghidare cu role în aşa fel încât axa lor să coincidă cu axa calibrului;

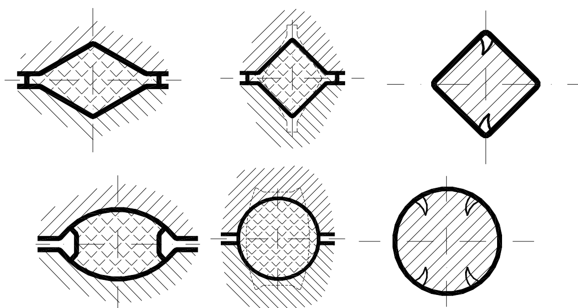


Fig. 5.44. Formarea suprapunerilor la laminarea:
a – unui profil pătrat; b - unui profil rotund.

- *suprapunerile de laminare* (fig. 5.44) sunt consecinţele presării bavurilor apărute în calibrul anterior celui în care se formează acest defect.

Pe produsul finit acest defect se manifestă sub forma unor fisuri lungi şi paralele între ele şi la o distanță ce depinde de valoarea saltului în momentul formării bavurii. Posibilitățile de evitare a acestui defect constau în:

- prevenirea sau atenuarea bavurilor;
- respectarea schemei de laminare la caja degrosisoare şi introducerea corectă a semifabricatelor în calibre;
- evitarea răcirii muchiilor prin transportul rapid al semifabricatului de la caja degrosisoare la caja pregătitoare.
- *torsionarea* (fig. 5.45) ce constă în rotirea diferitelor secțiuni transversale ale laminatului, luate de-a lungul axei longitudinale.

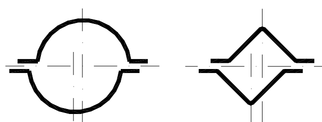


Fig. 5.45. Apariția torsionării prin deplasarea axială a cilindrilor (calibru asimetric).

Cauzele apariției acestui tip de defect sunt:

- deplasarea axială a cilindrilor;
- reducerea insuficientă în calibrul în care se produce torsionarea;
- introducerea nesimetrică a laminatului în calibru;
- încălzirea neuniformă a lingoului, care conduce la lungiri şi lățiri diferite în timpul laminării.

Posibilitățile de prevenire a acestor categorii de defecte sunt:

- verificarea şi reglarea axială a cilindrilor;
- asigurarea unor reduceri normale în calibre pentru umplerea completă a calibrului anterior;
- asigurarea centrării ghidajelor de intrare cu axa calibrului;
- introducerea corectă a barei în calibru cu axa de simetrie pe verticală;
- încălzirea uniformă a lingourilor în toată masa lor.
- *deplasarea axială* (fig. 5.46) constă în apariția unui aspect de bavură sau diferență între laturile secțiunii pe ambele părți ale profilului.

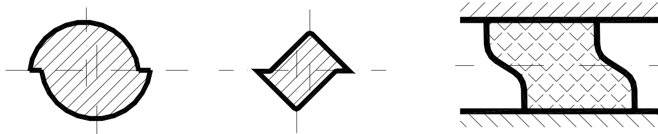


Fig. 5.46. Secțiune printr-un laminat cu deplasare axială. Fig. 5.47. Aspectul laminatului rombic.

Cauza o constituie dezaxarea pronunțată a acelor două semicalibre, iar prevenirea acestui tip de defect presupune reglarea axială corectă a cilindrilor;

- *ovalitatea* este un defect specific laminatelor cu secţiune rotundă şi este dată de diferenţa dintre două diametre perpendiculare, măsurată în aceeaşi secţiune a profilului. Cauzele apariţiei ovalităţii sunt:

- umplerea incompletă a calibrului finisor;
- salt prea mare sau prea mic la calibrul finisor;
- deplasarea axială uşoară a cilindrilor.

Posibilităţile de prevenire constau în:

- mărirea secţiunii în calibrul oval, prin creşterea saltului;
- stabilirea unui salt corespunzător în calibrul finisor;
- reglarea axială a cilindrilor.

- *rombicitatea* (fig. 5.47) constă în deformarea secţiunii laminatului prin înclinarea laturilor.

Este un defect specific blumurilor şi ţaglelor şi are următoarele cauze:

- diferenţa accentuată între diagonalele lingoului (>20mm.);
- raportul între înălţimea şi lăţimea semifabricatului la laminarea pe tăblie depăşeşte 1,3, iar la laminarea în calibru depăşeşte 1,8;
- încălzirea neuniformă a lingourilor (în special cele cu masa de peste 8 tone);
- deplasarea axială a cilindrilor etc.

Principalele căi de prevenire pot fi:

- o diferenţă între diagonalele lingourilor mai mică de 10mm;
- asigurarea unui raport mai mic de 1,3 şi 1,8;
- asigurarea unei încălziri uniforme a lingourilor;
- reglarea axială a cilindrilor etc.

- *rizurile (zgârieturile)* sunt defecte de suprafaţă produse de armătura de ghidare sau platforma de laminare în timpul deplasării longitudinale a laminatelor. Aceste defecte apar, în general, pe toată lungimea laminatului, iar adâncimea lor depinde de temperatura de sfârşit de laminare şi de mărimea asperităţilor care le-au produs.

- *defectele periodice* constau în goluri sau proeminenţe periodice pe suprafaţa laminatului. Cauza o constituie încărcarea sau zgârierea suprafeţelor calibrului. Prevenirea apariţiei unor astfel de defecte se face prin verificarea şi ajustarea permanentă a suprafeţelor calibrului.

Mai pot fi considerate defecte la un produs laminat următoarele: *rugozitate necorespunzătoare, încovoierea laminatului pe lungime, ondularea marginilor sau a mijlocului tablelor, grosimi diferite ale aripilor la profilele cu aripi, zone cu arsuri sau puternic decarburate* etc.

5.7.7. Tehnologia laminării

Procesul tehnologic de obtinere a unui laminat depinde, în primul rând, de temperatura la care se face laminarea, deosebindu-se: tehnologia laminării la cald şi

tehnologia laminării la rece.

Principalele etape ale unui proces tehnologic de laminare la cald sunt:

1. *Alegerea lingoului (forma, mărimea, materialul etc.) sau a semifabricatului inițial* (ce poate fi obținut prin forjare liberă sau o laminare anterioară) în funcție de natura operației de laminare, produsului laminat ce se vrea obținut şi configurația geometrică a acestuia;

2. *Pregătirea semifabricatului* – în vederea laminării se îndepărtează zonele cu retasuri şi defecte de turnare, se curăță şi degresează suprafațe;

3. *Debitarea la dimensiunile necesare* – ținând cont de legea volumului constant;

4. *Controlul inițial* – un control nedistructiv cu ultrasunete, radiații penetrante, lichide penetrante sau termografie;

5. *Tratamentul termic inițial* (când este cazul) – în vederea creşterii proprietăților de deformare plastică;

6. *Alegerea utilajului de încălzire* – în funcție de forma şi configurația semifabricatului, natura materialului, productivitatea prelucrării şi dimensiunile de gabarit;

7. *Încălzirea semifabricatului* – în vederea laminării se face încălzirea la temperatura de început de deformare, respectându-se toți ceilalți parametri ai regimului de încălzire în vederea deformării.

8. *Stabilirea succesiunii logice a etapelor de laminare* – calibrele se aleg în funcție de configurația geometrică a produsului laminat;

9. *Alegerea utilajului pentru laminare* – în funcție de natura materialului, forma şi dimensiunile produsului laminat, productivitatea prelucrării;

10. *Laminarea propriu-zisă* – în funcție de configurația geometrică şi dimensiunile produsului laminat. Calibrele sunt alese în aşa fel încât semifabricatul să se lamineze la forma finală la o singură încălzire, respectându-se domeniul optim al temperaturii de deformare (de exemplu, pentru oțel 1 100 – 1 600K). Faza de calibrare se execută la temperaturi mai mici decât temperatura de sfârşit de deformare;

11. *Tratamentul termic intermediar* (dacă este cazul) după fiecare trecere sau după un anumit număr de treceri, în vederea restabilirii proprietăților de deformare;

12. *Debitarea la dimensiunile prescrise* – în funcție de mărimea secțiunii şi lungimea produsului;

13. *Tratamentul termic final* – în funcție de destinația ulterioară a produsului laminat;

14. *Curățirea finală* – îndepărtarea diferitelor impurități sau aderențe de pe suprafața produsului laminat;

15. *Controlul tehnic final* – se controlează dimensiunile, secțiunea şi configurația geometrică;

16. *Sortarea şi depozitarea sau ambalarea* – în vederea transportului la beneficiar.

Observaţie. Un proces tehnologic de laminare la rece cuprinde aceleaşi operaţii, exceptând cele legate de încălzirea semifabricatului în vederea laminării.

5.7.8. Procedee speciale de laminare

Producerea pieselor în serie mare sau în masă (ţevi, inele de rulmenţi, şuruburi, burghie, nituri, axe, roţi de vagoane pentru căi ferate etc.), reducerea forţelor necesare deformării la laminare, obţinerea unor laminate din materiale cu proprietăţi de plasticitate scăzute şi creşterea calităţii produselor laminate, în condiţiile unei productivităţi ridicate, impun utilizarea unor procedee de laminare specializate, speciale sau neconvenţionale. În acest sens au fost proiectate şi realizate în ultimii ani linii tehnologice de laminare *complet automatizate* sau chiar *cibernetizate cu randamente maxime*. Câteva dintre procedeele speciale de laminare se prezintă succint în continuare.

5.7.8.1. Laminarea ţevilor

Ţevile şi conductele au o deosebit de largă întrebuinţare în economie, dimensiunile, forma şi natura materialului alegându-se în funcţie de rolul funcţional şi de mediul în care lucrează.

Obţinerea ţevilor prin laminare este una din cele mai productive metode şi presupune două etape importante:

- obţinerea unor ţevi brute denumite *eboşe* prin perforarea semifabricatelor pline pe laminoare speciale după schema din figura 5.34. c;
- prelucrarea prin laminarea de finisare a eboşei în vederea obţinerii ţevii la dimensiunile şi caracteristicile dorite.

Prin laminare la cald se obţin ţevi cu diametrul de 20…700 mm şi grosimea peretelui de 1,5…60 mm, fiind foarte greu să se obţină ţevi laminate la cald cu diametrul sub 20 mm şi grosimea peretelui de 1,5…3,0 mm datorită condiţiilor grele de deformare. De asemenea, laminarea ţevilor cu diametre peste 700 mm este neeconomică, deoarece necesită utilaje complicate (este mult mai economică obţinerea ţevilor în construcţie sudată).

În practică se folosesc mai multe procedee de laminare la cald a ţevilor, dintre care cele mai răspândite sunt:

- procedeul Stiefel sau cu laminor automat;
- procedeul Mannesmann sau cu laminor Pilgher;
- procedeul Foren sau cu laminor continuu;
- procedeul Stossbank sau cu banc împingător;
- procedeul Assel sau cu laminor cu trei cilindri etc.

Fig. 5.48. Schema tehnologică de fabricație a țevilor după procedeul Stifel.

Schema tehnologică de fabricare a țevilor după procedeul Stiefel (cel mai răspândit şi în România, la Întreprinderea de țevi Roman şi Întreprinderea Republica Bucureşti) se prezintă în figura 5.48.

În general se pleacă de la o ţaglă debitată la dimensiunile necesare, care apoi este perforată după schema din figura 5.34. c. Urmează apoi laminarea țevii pe *laminorul duo – automat*, după schema din figura 5.49, unde se petrece o reducere a diametrului exterior, o subțiere a grosimii peretelui şi o creştere corespunzătoare a lungimii țevii.

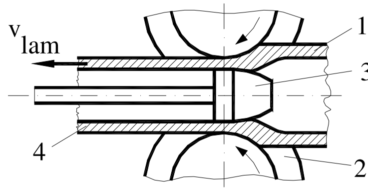


Fig. 5.49. Laminarea țevii la laminorul duo-automat :
1 – țeava eboş; 2 – cilindrii calibrați; 3 – dop; 4 – țeava laminată; v_{lam} – viteza de laminare.

După terminarea laminării țevii la laminorul duo-automat, în scopul îmbunătățirii suprafeței exterioare şi interioare, înlăturării denivelărilor şi rizurilor, scăderii ovalității şi neuniformității grosimii peretelui, țeava este transmisă la *laminorul netezitor* care funcționează după principiul din figura 5.50. Netezirea se efectuează pentru un dop de fontă, având diametrul cu 1...6 mm mai mare decât diametrul interior al țevii.

Obținerea dimensiunilor finale ale țevii se realizează pe *laminorul de calibrare*, care constă din 5 – 7 caje duo-ireversibile cu regim de lucru continuu (după schema din figura 5.51).

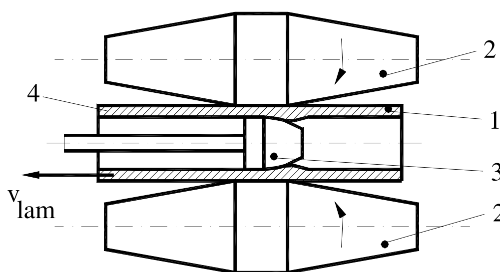


Fig. 5.50. Laminarea țevii la laminorul netezitor:
1 – țeava de la laminorul duo-automat;
2 – cilindri bitronconici; 3 – dop; 4 – țeava netezită.

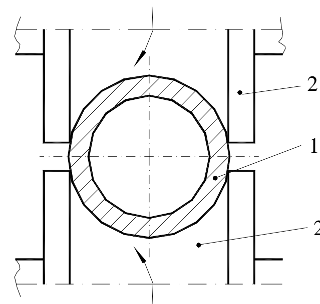


Fig. 5.51. Laminarea țevii la laminorul calibror:
1 – țeava de la laminorul netezitor;
2 – cilindrii calibrați.

În cazul în care este necesară obținerea de țevi cu diametrul de 17...60 mm, se efectuează o laminare suplimentară la cald (la temperatura de 950...1 000ºC) pe *laminorul reductor* (după schema din figura 5.52). Laminorul reductor este format din 9...26 caje amplasate în tandem, cu regim de lucru continuu.

La laminoarele reducătoare se pot obține şi țevi de alte forme ale secțiunii transversale (pătrate, dreptunghiulare, ovale, hexagonale etc.), în funcție de numărul de cilindri şi modul de dispunere al acestora în caja.

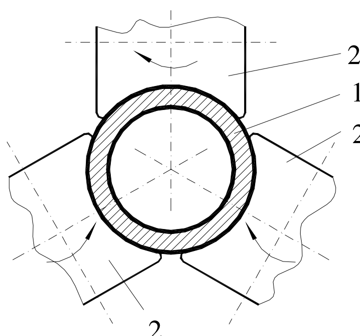


Fig. 5.52. Laminarea țevii la laminorul reducător:
1 – țeava de la laminorul netezitor; 2 – cilindrii calibrațil.

Procedeul Mannesmann utilizează, în locul cajelor duo-automate, caje periodice de tip Pilgher, obținându-se țevi cu diametrul 40...665mm, grosimea peretelui 2...10mm şi lungimea până la 40m, după o schemă tehnologică asemănătoare.

5.7.8.2. Laminarea inelelor

În categoria inelelor, care pot fi realizate prin laminare, intră atât inelele pentru rulmenți (care se fabrică în producție de masă), cât şi inelele de sprijin pentru recipienții mari utilizați în industria chimică sau în construcția centralelor electrice. Schema de principiu a realizării inelelor de dimensiuni mari cu pereții drepți se prezintă în figura 5.53, iar pentru realizarea unui inel profilat, în figura 5.54.

5.7.8.3. Laminarea roților de vagoane

O dată cu realizarea locomotivelor Diesel şi electrice care dezvoltă viteze mari şi o dată cu construcția vagoanelor de mare capacitate, roțile cu obadă au fost constructiv depăşite şi înlocuite cu roți monobloc. Dimensiunile acestor roți variază între 600 şi 1 250 mm, fabricându-se, în general, din oțeluri carbon cu 0,45... 0,85%C, iar pentru viteze foarte ridicate se execută din oțeluri aliate pe bază de Cr – Ni, Cr – Ti şi Cr – Si – Ti.

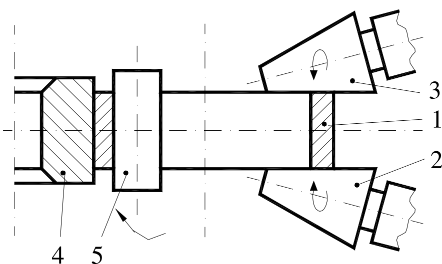


Fig. 5.53. Schema de principiu a realizării inelelor mari cu pereții drepți:
1 – inel; 2, 3 – cilindrii bitronconici; 4 - cilindru de presiune; 5 - cilindru mobil.

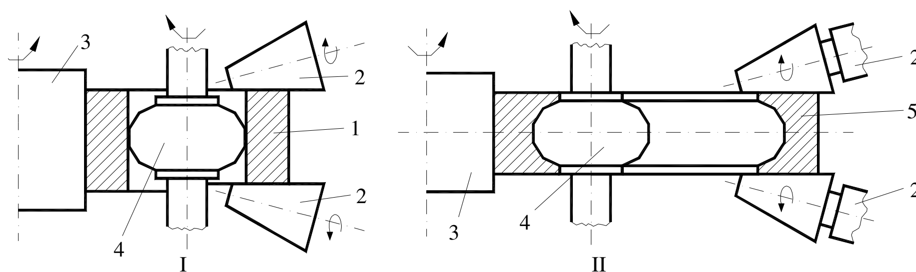


Fig. 5.54. Schema de principiu a realizării prin laminare a inelelor profilate:
I, II – fazele laminării- inel semifabricat; 2 – cilindri bitronconici;
3 - cilindru de presiune; 4 - cilindru mobil; 5 - inelul finit.

Schema de principiu a laminării unei roți monobloc se prezintă în figura 5.55.

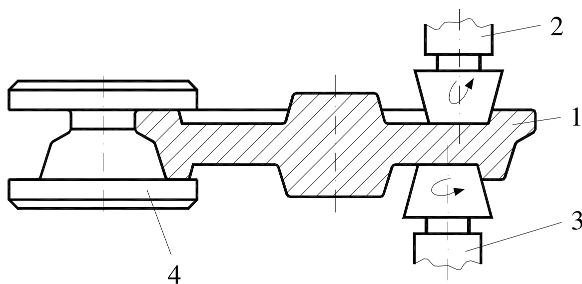


Fig. 5.55. Schema de principiu a laminării unei roți monobloc :
1 – roată monobloc; 2, 3 – cilindri de presiune pentru întindere;
4 – cilindru de presiune pentru formarea profilului exterior.

Laminarea se poate realiza pe caje special construite, fie cu mişcarea roții în plan vertical, fie în plan orizontal. Găurirea, ondularea membranei roții,

calibrarea şi poansonarea numărului şarjei se realizează la o singură cursă a unei prese hidraulice, pe o matriță specială.

5.7.8.4. Laminarea burghielor

Procedeul clasic de realizare a burghielor de găurit constă în aşchierea pe maşini de frezat. Această metodă prezintă mai multe dezavantaje, ca: volum mare de lucru, consum ridicat de scule aşchietoare; la producția de serie mare şi masă este necesar un număr mare de maşini de frezat; consum mare de material pierdut prin deşeuri, obținându-se burghie cu proprietăți de rezistență relativ scăzute din cauza întreruperii prin aşchiere a fibrajului continuu. Toate aceste dezavantaje sunt înlăturate folosind metoda deformării plastice a burghielor.

Schema de principiu a obținerii burghielor prin laminare se prezintă în figura 5.56. Semifabricatele 1, din buncărele de alimentare 2, sunt aduse de împingătorul 3 în inductorul 4 şi apoi între cilindrii de deformare 5 şi 6. Cilindrii de deformare au puntea activă sub formă de segmenți înclinați în spațiu astfel încât să imprime semifabricatului o mişcare de avans şi elicoidală conform profilului şanțurilor de evacuare a şpanului. Burghiul obținut trece apoi printr-un jgheab 7, pe unde este evacuat şi colectat în buncărul de depozitare.

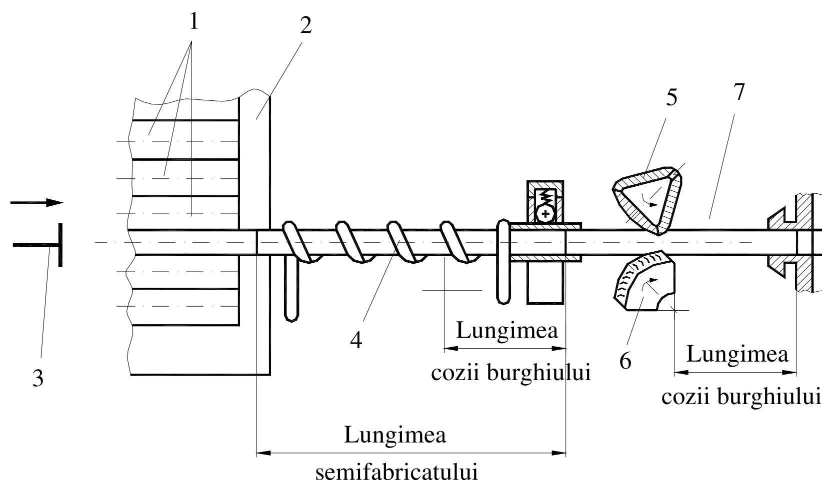


Fig. 5.56. Schema de principiu a obținerii burghielor prin laminare:
1 – semifabricate; 2 – buncăr; 3 – împingător; 4 – indicator de încălzire;
5, 6 – cilindri segmenți; 7 – jgheab de ghidare.

5.7.8.5. Laminarea prin forjare

Laminarea prin forjare foloseşte cilindrii segment cu diferite profile care sunt utilizate la prelucrarea unor semifabricate cu lungime de până la maximum

1…500 mm. Semifabricatele sunt bare pătrate cu diametrul de până la maximum 80...100 mm, iar produsele obținute sunt bile, role sau piese cu un anumit profil cerut prin proiectare. Schema de principiu a laminării prin forjare se prezintă în figura 5.57.

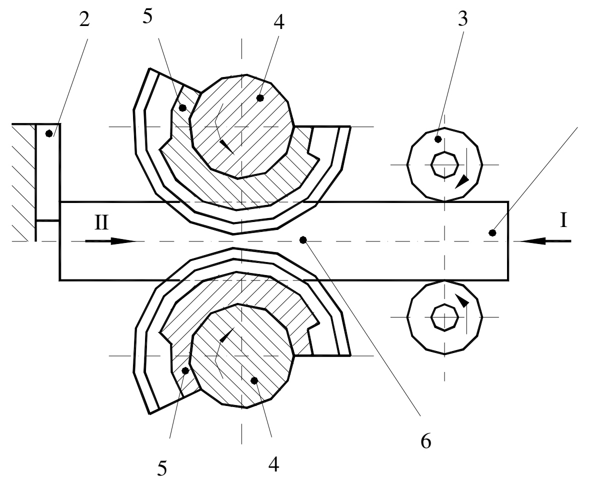


Fig. 5.57. Schema de principiu la laminarea prin forjare:
1 – semifabricat; 2 – opritor; 3 – sistem de antrenare; 4 – cilindri de lucru;
5 – segmenți profilați; 6 – produsul laminat.

Semifabricatul 1 este deplasat până la opritorul 2 în direcția I, de către sistemul de antrenare 3. În momentul atingerii opritorului 2, clindrii de lucru 4, pe care sunt montați segmenții profilați 5, încep să se rotească efectuând deformarea şi scoaterea produsului laminat în direcția II. Sunt şi cazuri în care cilindrii de lucru sunt profilați corespunzător (cazul obținerii rolelor şi bilelor pentru rulmenți). Principalele avantaje ale procedeului sunt: un înalt grad de automatizare, productivități foarte ridicate (de 5...10 ori mai mari); viteze mari de execuție; instalații relativ simple şi care funcționează fără şocuri şi vibrații; cheltuieli de întreținere mici; piese cu caracteristici funcționale mult îmbunătățite şi faptul că se pot folosi muncitori cu calificare redusă. Principalul dezavantaj este acela că se foloseşte doar la un anumit tip de produse, de dimensiuni limitate.

5.7.8.6. Laminarea roților dințate

Laminarea roților dințate este un procedeu destul de des întâlnit pentru realizarea roților dințate cu mare rezisteță la uzură, deoarece fibrajul este continuu şi nu mai necesită prelucrări ulterioare pretențioase.

Schema de principiu a obținerii roților dințate prin laminare se prezintă în figura 5.58.

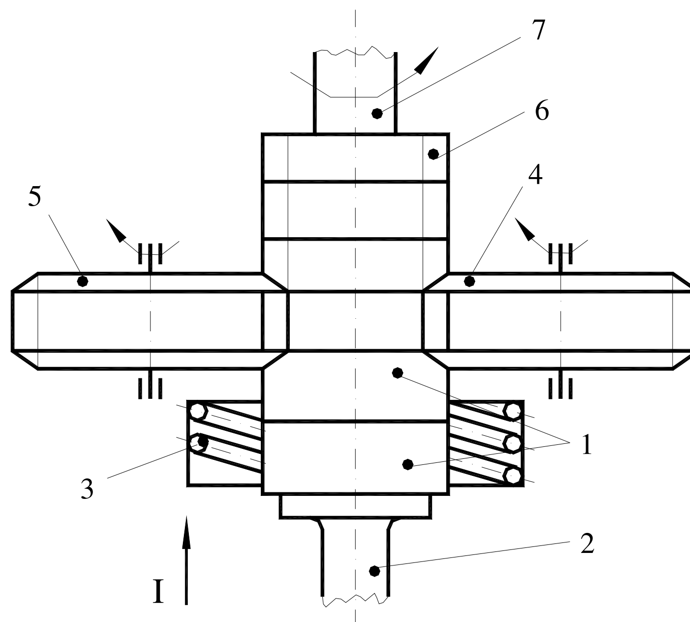


Fig. 5.58. Schema de principiu la laminarea roților dințate:
1 – semifabricate; 2 – suport; 3 – inductor de încălzire; 4, 5 – cilindrii dințați; 6 - roată divizoare; 7 – ax suport.

Semifabricatele 1, susținute de suportul 2, au o mişcare de avans în direcția I şi una de rotație. După ce semifabricatele sunt încălzite de inductorul 3 la temperatura de 1 400K, ele sunt deformate prin laminare de cilindrii dințați 4 şi 5 care au o mişcare de rotație. Când roata dințată este gata (la o rotație completă), ea avansează şi ia locul de roată divizoare 6, care este în angrenaj cu cilindrii dințați şi sincronizează viteza celor două axe ale cilindrilor.

După modul cum are loc deformarea semifabricatului se deosebesc două procedee de laminare a roților dințate: *prin procedeul de trecere* şi *prin procedeul de pătrundere.*

Productivitatea procedeului este deosebit de mare, iar proprietățile funcționale ale roților dințate obținute sunt mult îmbunătățite.

5.7.8.7. Laminarea în câmp ultrasonic

Folosirea energiei ultrasonice în procesele de deformare plastică prin laminare a depăşit de mult fazele de cercetare şi experimentare din laboratoare, existând în prezent instalații de laminare în câmp ultrasonic care se încadrează în ciclurile de producție industrială de mare productivitate şi randament. Procedeul foloseşte cele două efecte ale propagării undelor ultrasonore în solide şi anume:

- *efectul de volum,* ce constă în acest caz în reducerea substanţială a forţelor necesare deformării, datorită acţionării puternice a dislocaţiilor şi înmuierii materialului;

- *efectul de suprafaţă*, ce constă în reducerea substanţială a frecării de contact la interfaţa scule de deformare–material, datorită fenomenului cunoscut de *lubrifiere acustică* al ultrasunetelor.

Tipurile de undă folosite în realizarea câmpului ultrasonic sunt cele longitudinale, radiale şi de torsiune, în funcţie şi de schema de laminare şi produsul ce se vrea obţinut. Având în vedere că în practică mari dificultăţi se întâlnesc la laminarea benzilor, profilelor şi ţevilor din materiale greu deformabile sau de mici dimensiuni (produse fine şi extrafine, în condiţii de precizie deosebită), primele realizări remarcabile sunt în aceste domenii.

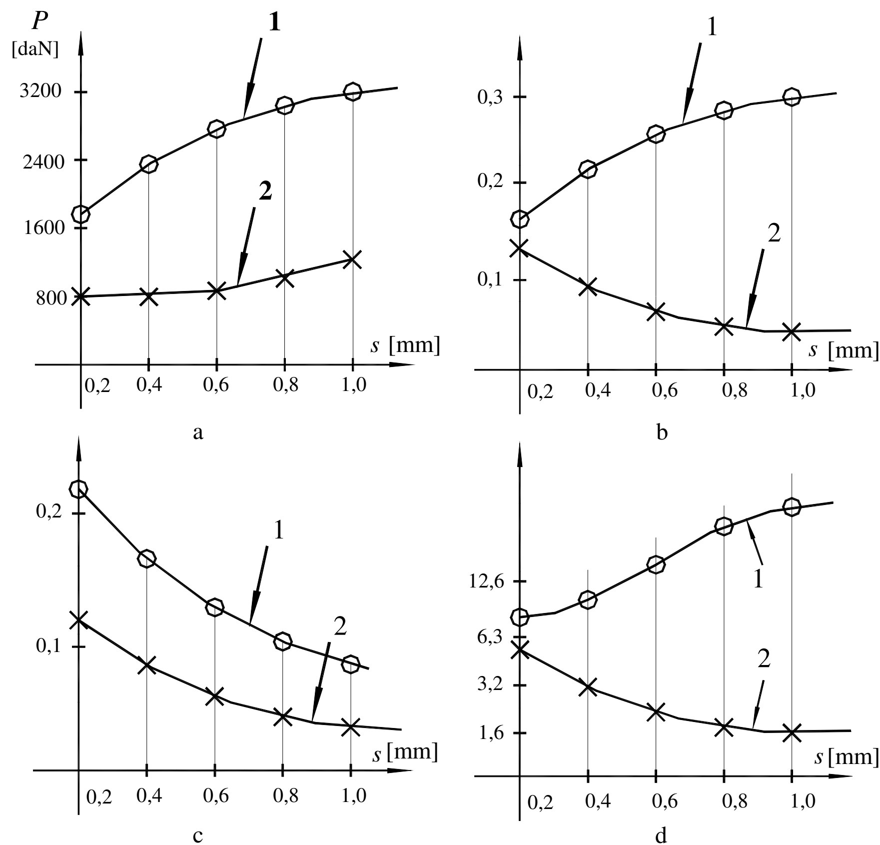


Fig. 5 59. Influenţa ultrasunetelor asupra:
a – forţei de deformare la laminare; b – coeficientului de frecare la interfaţa cilindri – semifabricat; c – lăţirii semifabricatului; d - rugozităţii suprafeţelor produsului laminat.

La laminarea benzilor subţiri şi ultrasubţiri se constată o substanţială reducere a forţelor necesare deformării (fig. 5.59. a), o reducere însemnată a frecării de contact (fig. 5.59. b), o reducere importantă a lăţirii Δl a semifabricatului (fig. 5.59. c), concomitent cu o spectaculoasă îmbunătăţire a preciziei dimensionale şi a rugozităţii suprafeţelor prelucrate (fig. 5.59. d).

La laminarea ţevilor cu pereţi subţiri sau din materiale greu deformabile s-au constatat aceleaşi efecte ca şi la laminarea benzilor (fig. 5.59) şi, în plus, introducerea undelor ultrasonore în focarul de deformare conduce şi la o uniformizare a grosimii peretelui şi o netă îmbunătăţire a calităţii suprafeţei ţevilor laminate.

La laminarea profilelor în câmp ultrasonic s-a constatat o creştere considerabilă a gradului de umplere, o creştere considerabilă a gradului de deformare, cât şi o reducere a forţei de deformare cu până la 70%.

Schema de principiu a unei instalaţii de laminare cu unde longitudinale se prezintă în figura 5.60.

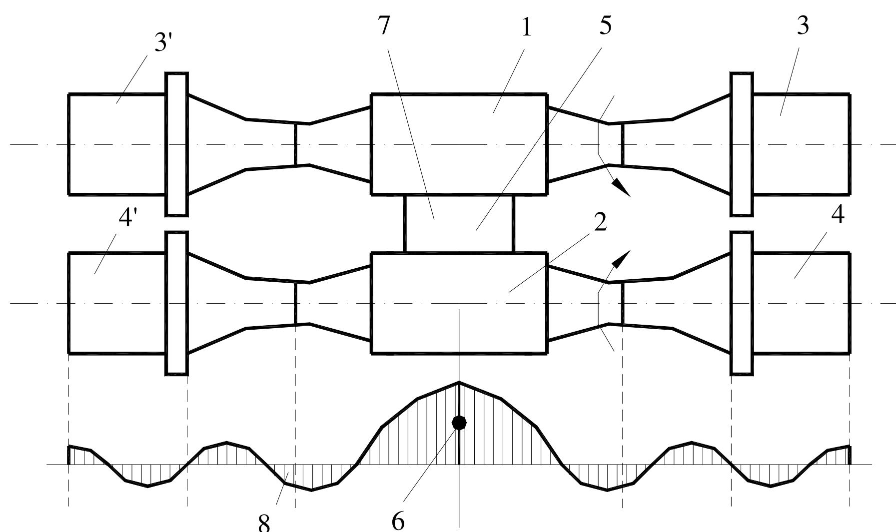


Fig. 5.60. Schema de principiu la laminarea în câmp ultrasonor:
1; 2 –cilindrii de lucru; 3, 3′, 4, 4′ – traductori ultrasonici; 5 – focar de deformare; 6 – valoarea maximă a amplitudinii; 7 – semifabricat; 8 - diagrama de variaţie a amplitudinii vitezei.

În acest caz, cilindrii de lucru 1 şi 2 sunt activaţi ultrasonic de traductorii ultrasonici 3; 3′ şi 4;4′ şi sunt astfel dimensionaţi încât focarul de deformare 5 să fie plasat în maximul de amplitudine 6 al vibraţiei ultrasonore, pentru a se obţine un maximum de efect al introducerii undelor ultrasonore (reducerea forţei de laminare, deci economie de energie; mărirea gradului de deformare; posibilitatea

laminării unor materiale greu deformabile; realizarea eficientă a unor produse fine şi extrafine şi îmbunătăţirea calităţii produselor).

Toate dezavantajele sunt legate de construcţia şi realizarea sistemelor ultraacustice de acţionare, care trebuie să fie astfel calculate încât să lucreze în regim de rezonanţă.

5.8. EXTRUDAREA

5.8.1. Definire şi scheme de principiu

Extrudarea este procedeul de prelucrare prin deformare plastică a materialelor ce constă în trecerea forţată, prin împingerea materialului, printr-un orificiu al unei scule de deformare de formă şi dimensiuni stabilite. Dimensiunile secţiunii sculei de deformare sunt mult mai mici decât dimensiunile secţiunii materialului iniţial.

Extrudarea se caracterizează prin aceea că deformarea plastică a materialului nu se produce deodată în tot volumul său, ci pe măsura intrării materialului în zona de deformare. În funcţie de modul sau sensul de curgere a materialului şi direcţia de aplicare a forţei de extrudare se deosebesc mai multe procedee de extrudare:

- *extrudarea directă* (fig.5.61. a) ce se caracterizează prin aceea că sensul de curgere al materialului este acelaşi cu direcţia de aplicare a forţei de extrudare *P*;

- *extrudarea inversă* (fig5.61. b) ce se caracterizează prin aceea că sensul de curgere al materialului este opus direcţiei de aplicare a forţei de extrudare *P*;

- *extrudarea combinată* (fig5.61. c) ce se caracterizează prin aceea că sensul de curgere al materialului este oricum (şi acelaşi şi opus şi chiar înclinat) în raport cu direcţia de aplicare a forţei de extrudare *P*. Semifabricatul iniţial 1, de secţiune rotundă cu suprafaţa S_0 se introduce în camera de presare 2, unde este presat de poansonul 3 şi forţat să treacă prin matriţa 4, cu secţiunea şi dimensiunile proiectate şi fixată în suportul port-matriţă 5. Rezultă produsul extrudat 6 de secţiune *S* şi configuraţia proiectată.

În cazul extrudării directe (fig.5.61. a) direcţia şi sensul de curgere al materialului ce se extrudează sunt aceleaşi cu direcţia şi sensul de acţionare al forţei de extrudare *P* introdusă de piston. Extrudarea directă se foloseşte, de regulă, la obţinerea unor semifabricate sau profile de *secţiune plină* şi în cazul deformării prealabile a lingourilor din oţeluri şi aliaje cu plasticitate redusă.

În cazul extrudării inverse (fig.5.61. b), forţele necesare deformării sunt mai mici, deoarece semifabricatul nu mai are o mişcare în raport cu pereţii camerei de presare şi nu mai există forţe de frecare pe suprafeţele laterale ale

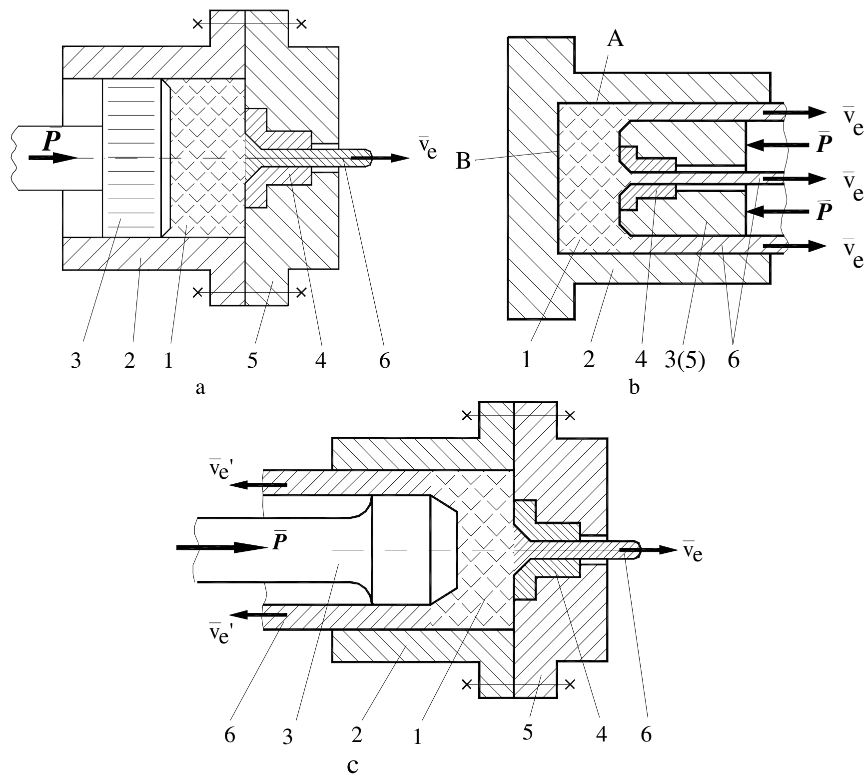


Fig. 5.61. Schema de principiu la extrudarea:
a – directă; b – inversă; c – combinată; 1 – semifabricatul inițial; 2 – camera de presare; 3 – poanson; 4 – scula de deformare (matrița); 5 – suport matriță; 6 – produsul extrudat; *P* – forța de extrudare; v_e – viteza curgerii materialului extrudat.

semifabricatului în zona A şi B. De aceea, extrudarea inversă se utilizează mai frecvent pentru realizarea semifabricatelor şi pieselor tubulare şi de configurație complexă.

Extrudarea combinată se utilizează la obținerea unor produse de configurație complexă impusă.

La extrudare, în urma deformării plastice, materialele suferă:

- *modificări geometrice*, ce constau într-o mărire substanțială a lungimii şi o reducere importantă a secțiunii;

- *modificări structurale,* ce constau în ecruisarea puternică a stratului superficial (în cazul extrudării la rece), ce conduce la o variație importantă a proprietăților funcționale.

În funcție de posibilitățile de deformare ale materialului şi de precizia dimensională şi calitatea suprafeței ce se vor dorite la produsul extrudat, extrudarea se poate face la cald sau la rece.

5.8.2. Bazele teoretice ale extrudării

Starea de tensiuni şi deformaţii şi curgerea materialului are loc diferit, în funcţie de modul cum se face extrudarea şi de *zona în care se află pe secţiunea matriţei de extrudat*. Datorită unor factori ca: *valoarea şi natura forţelor ce se dezvoltă în timpul extrudării; diferenţa de temperatură dintre scule şi materialul care se extrudează; valoarea forţelor de frecare la interfaţa semifabricat – sculă; forma sculelor; viteza şi gradul de deformare şi modul cum are loc extrudarea,* deformarea este neuniformă în volumul semifabricatului, unele părţi găsindu-se aproape într-o stare de deformare elastică.

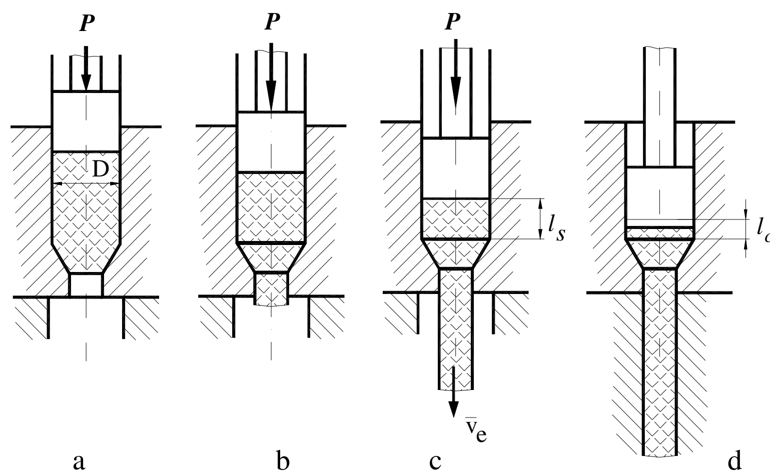


Fig. 5.62. Stadiile de deformare la extrudarea directă:
a – presarea semifabricatului în camera de presare; b - începutul curgerii prin zona de calibrare; c – extrudarea propriu – zisă ($l_s \geq l_{cr}$); d – sfârşitul extrudării ($l_s < l_{cr}$); l_s – lungimea semifabricatului; l_{cr} – lungimea critică.

La extrudarea directă deformarea plastică a materialului are loc în patru stadii distincte:

- *presarea semifabricatului în camera de presare,* până la intrarea acestuia în zona de calibrare a matriţei (fig5.62. a) şi începutul unei frecări intense între semifabricat şi pereţii laterali ai camerei de presare;
- *începutul şi curgerea materialului* prin zona de calibrare a matriţei (fig.5.62. b);
- *curgerea materialului din camera de presare* prin orificiul de calibrare, până când lungimea semifabricatului l_s , îndeplineşte condiţia $l_s \geq l_{cr}$ (fig. 5.62. c);
- *curgerea materialului din camera de presare* prin orificiul de calibrare, până când lungimea semifabricatului $l_s < l_{cr}$ (fig. 5.62. d) şi sfârşitul procesului de deformare.

Cele patru stadii de deformare sunt foarte bine diferențiate în funcție de variația forței de deformare *P*, o dată cu deplasarea poansonului (fig. 5.63), astfel: primului stadiu îi corespunde o creştere însemnată a forței de deformare, deoarece semifabricatul de diametru inițial D_0 ajunge la diametrul *D* al camerei de presare; celui de-al doilea stadiu îi corespunde atingerea valorii maxime a forței de extrudare, deoarece trebuie învinse şi forțele de frecare la interfața semifabricat – cameră de presare; în cel de-al treilea stadiu forța de deformare scade până la o valoare minimă, deoarece materialul începe să curgă laminar prin orificiul de calibrare; celui de-al patrulea stadiu îi corespunde o uşoară creştere din nou a forței de extrudare *P*, deoarece materialul are o curgere turbulentă şi este şi puternic deformat ($l_s < l_{cr}$).

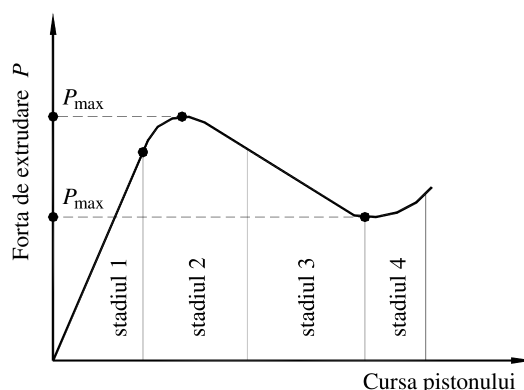


Fig. 5.63. Variația forței de extrudare *P* în funcție de cursa pistonului corespunzătoare celor 4 stadii distincte ale deformării:
stadiul 1 – presarea semifabricatului în camera de presare; stadiul 2 – începutul curgerii materialului prin zona de calibrare; stadiul 3 – extrudarea propriu – zisă; stadiul 4 – sfârşitul extrudării.

Datorită prezenței forțelor de frecare dintre semifabricat şi matriță, materialul de la interior tinde să se deplaseze mai repede decât cel de la exterior (fig. 5.64), având drept rezultat apariția unor tensiuni de întindere în zona apropiată de pereții laterali ai matriței şi tensiuni de compresiune în zona centrală.

Prezența acestor tensiuni poate conduce la *apariția de fisuri transversale,* care pornesc de la suprafață spre interior, mai ales în cazul materialelor cu deformabilitate redusă.

Pericolul apariției acestor tipuri de fisuri se poate elimina prin:

- micşorarea neuniformității deformării pe secțiunea semifabricatului, prin folosirea unei ungeri bune şi alegerea unui unghi α optim;
- mărirea rezistenței de deplasare a semifabricatului prin zona de calibrare;
- încălzirea neuniformă pe secțiune a semifabricatului în aşa fel încât, datorită rezistenței la deformare diferită la interior față de exterior, să rezulte o

deformare mai uniformă pe secțiune.

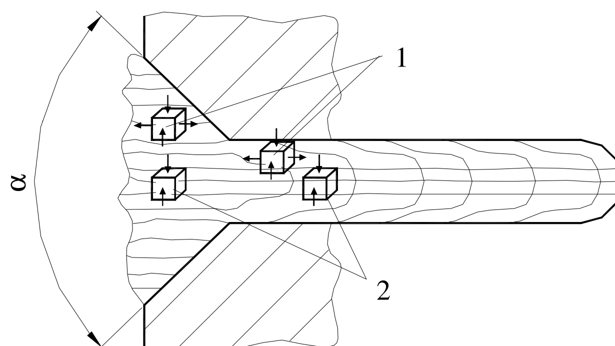


Fig. 5.64. Forma liniilor de curgere şi starea de solicitare a materialului în diferitele zone ale matriței: 1 – zone solicitate la compresiune – întindere; 2 – zone solicitate la compresiune puternică; α - unghiul conului de deformare.

La extrudarea inversă lipseşte stadiul 1 de deformare şi, deci, forța de extrudare rămâne aproximativ constantă pe toată perioada cât $l_s \geq l_{cr}$, având valori mai mici decât la extrudarea directă (fig.5.65).

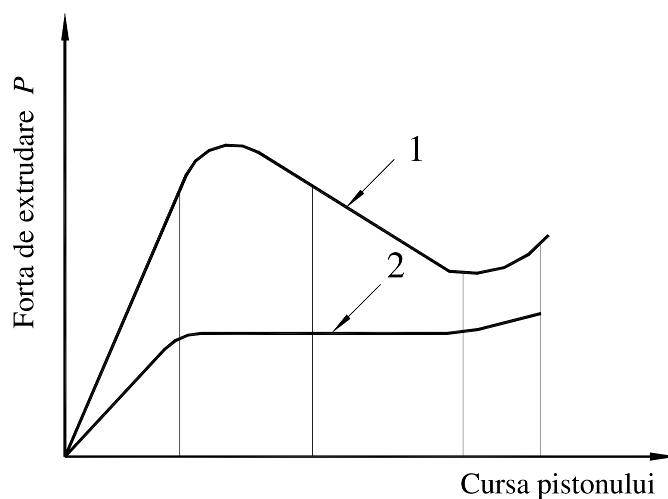


Fig. 5.65. Variația forței de extrudare funcție de cursa pistonului: 1 – la extrudarea directă; 2 – la extrudarea inversă.

La extrudarea combinată, deoarece forța necesară deformării este mai mică în zone de extrudare inversă, curgerea materialului este mai accentuată în această zonă, fenomen ce trebuie avut în vedere la proiectarea produsului extrudat prin

această metodă (porțiunea respectivă să necesite o curgere mai accelerată, adică să aibă o secțiune mai mare, să fie o configurație mai simplă etc.).

5.8.3. Calculul forței necesare la extrudare

Pentru stabilirea unei tehnologii raționale de extrudare, pentru o dimensionare corectă a matrițelor şi utilizarea rațională a utilajelor folosite la extrudare este necesar să se cunoască foarte bine forța necesară deformării materialului şi modul cum influențează anumiți factori asupra acesteia.

Experimental s-a constatat că valoarea forței totale de extrudare este influențată, în principal, de următorii factori:

- rezistența la deformare a materialului în condiții de extrudare date;
- natura materialului extrudat;
- gradul de deformare şi modul de deformare;
- forma şi dimensiunile semifabricatului inițial;
- complexitatea piesei obținute prin extrudare;
- valoarea forțelor de frecare ce apar la interfața materialului cu camera de presare şi cu sculele de deformare.

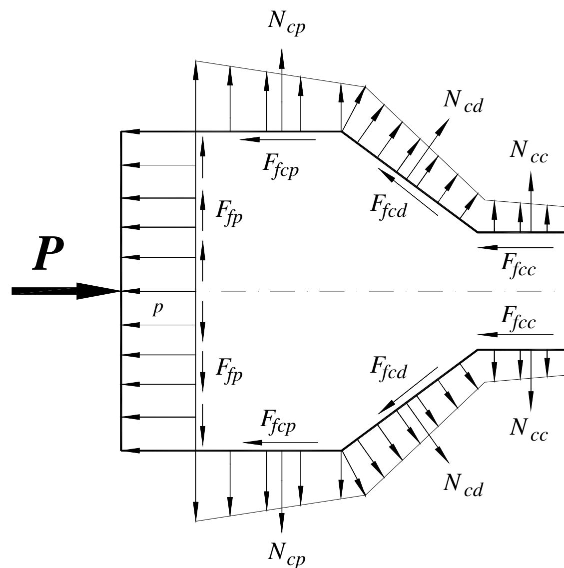


Fig. 5.66. Distribuția forțelor pe pereții laterali ai matriței şi pe partea frontală a pistonului: N_{cc}, N_{cd}, N_{cp}, - reacțiunile normale ale materialului în zona de calibrare şi respectiv în zona de deformare şi în camera de presare; F_{fcc}, F_{fcd}, F_{fcp}, F_{fp} – forțele de frecare ce apar la interfața semifabricat – cilindru de calibrare şi respectiv semifabricat – conul de deformare; semifabricat – cameră de presare şi semifabricat – partea frontală a poansonului; p – presiunea aproximativ uniformă exercitată de material asupra poansonului; P – forța de extrudare necesară a fi introdusă în poanson.

Pentru determinarea forței de extrudare trebuie ținut cont de forțele ce apar în timpul procesului de extrudare (fig. 5.66), deoarece forța de extrudare *P*, aplicată semifabricatului, prin intermediul pistonului, trebuie să depășească suma tuturor acestor forțe.

Ca urmare a introducerii semifabricatului în camera de presare şi trecerii acestuia prin stadiul de deformare, apar următoarele categorii de forțe:

- reacțiunea materialului pe partea frontală a poansonului *p*;
- reacțiunea materialului în camera de presare, N_{cp} ;
- reacțiunea materialului în canalul de deformare, N_{cd};
- reacțiunea materialului în cilindrul de calibrare, N_{cc};
- forța de frecare la interfața semifabricat – partea frontală a pistonului, F_{fp};
- forța de frecare la interfața semifabricat – camera de presare, F_{cp};
- forța de frecare la interfața semifabricat – canalul de deformare, F_{fcd};
- forța de frecare la interfața semifabricat – cilindru de calibrare, F_{fcc}.

Determinarea forței necesare extrudării se face funcție de modul de extrudare şi luând în considerare metoda de calcul a presiunii de extrudare pe baza însumării presiunilor.

5.8.3.1. Calculul forței la extrudarea directă

Pentru determinarea relației de calcul a forței de extrudare se consideră extrudarea directă a unei bare cu secțiune plină de diametru *d*, dintr-un semifabricat cilindric de diametru *D* (fig. 5.67. a). Interiorul camerei de presare şi al matriței în care se produce deformarea la extrudarea directă se împarte în trei zone distincte:

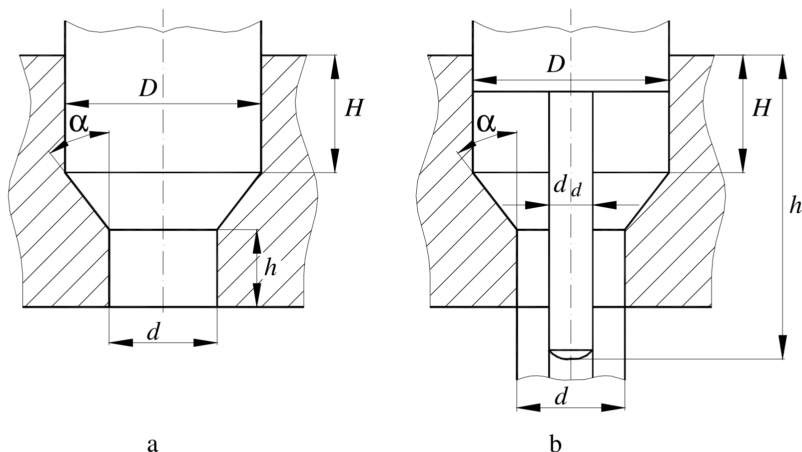


Fig. 5.67. Calculul forței necesare la extrudare:
a – pentru produse cu secțiune plină ; b – pentru produse cu secțiune tubulară ; *D* – diametrul camerei de presare ; *H* – înălțimea camerei de presare ; *h* – înălțimea zonei de calibrare ; α - unghiul conului de deformare; d_d; h_d – diametrul şi respectiv înălțimea dornului.

- zona cilindrică superioară, prin care se deplasează semifabricatul, în camera de presare, sub acțiunea poansonului;
- zona tronconică de trecere de la diametrul D la diametru d, cu unghiul de înclinație α şi în care se produce deformația propriu-zisă;
- zona cilindrică inferioară, în care se produce calibrarea.

Presiunea de deformare p, considerată la suprafața de contact dintre semifabricat şi piston trebuie să aibă valoarea:

$$p = p_D + p_\alpha + p_d\,, \tag{5.120}$$

în care: p_D – presiunea necesară trecerii semifabricatului prin cameră de presare; p_α – presiunea necesară trecerii semifabricatului prin zona de deformare; p_d – presiunea necesară trecerii semifabricatului prin zona de calibrare.

Dacă se consideră că în camera superioară nu are loc o deformare a materialului, forța necesară deplasării acestuia prin această zonă trebuie să depăşească forța de frecare F_{fcp}, dată de relația:

$$F_{fcp} = 4\mu\pi DHR_d\,, \tag{5.121}$$

în care: μ este coeficientul de frecare; D – diametrul camerei de presare; H – înălțimea camerei de presare; R_d – rezistența la deformare a materialului.

Deci, presiunea necesară p_D, va fi de forma:

$$p_D = \frac{F_{fcp}}{\dfrac{\pi D^2}{4}} = 16\mu\frac{H}{D}R_d\,. \tag{5.122}$$

În zona tronconică procesul de deformare este foarte complex şi pentru calculul presiunii se fac o serie de simplificări. Pornind de la ecuația diferențială de echilibru în sistemul de coordonate sferice se obține în final pentru presiunea p_α o expresie de forma:

$$p_\alpha = 4R_d\left(\frac{1}{2\alpha} + \frac{1}{\sqrt{3}}\right)\ln\frac{D^2}{d^2}\,, \tag{5.123}$$

în care: α este unghiul conului de deformare.

În zona de calibrare semifabricatul nu suferă nici o modificare a formei, prin urmare forța necesară deplasării prin aceatsă zonă F_d, trebuie să învingă forța de frecare de la interfața semifabricat – cilindrul de calibrare F_{fcc}, de forma:

$$F_{fcc} = \mu \cdot \pi \cdot d \cdot h \cdot R_d \tag{5.124}$$

în care: d şi h sunt dimensiunile zonei de calibrare.

Prin urmare, presiunea necesară trecerii prin această zonă p_d, va fi de forma:

$$p_d = \frac{F_{fcc}}{\frac{\pi d^2}{4}} = 4\mu \frac{h}{d} R_d . \quad (5.125)$$

Ținând cont de expresiile (5.122), (5.123) şi (5.125) rezultă pentru p, expresia:

$$p = 4R_d \left[4\mu \left(\frac{H}{D} + \frac{h}{d} \right) + \left(\frac{1}{2\alpha} + \frac{1}{\sqrt{3}} \ln \frac{D^2}{d^2} \right) \right] , \quad (5.126)$$

iar forța necesară extrudării directe P_d va fi de forma:

$$P_d = 4R_d \left[4\mu \left(\frac{H}{D} + \frac{h}{d} \right) + \left(\frac{1}{2\alpha} + \frac{1}{\sqrt{3}} \ln \frac{D^2}{d^2} \right) \right] \cdot \frac{\pi D^2}{4} . \quad (5.127)$$

În cazul *extrudării profilelor necirculare,* se va introduce în loc de raportul $\left(\frac{D}{d} \right)^2$, raportul secțiunilor $\left(\frac{S_0}{S_1} \right)$ şi un coeficient de corecție k cu care se va majora presiunea în zona de deformare, obținându-se pentru forța de extrudare P_{dn} expresia:

$$P_{dn} = 4R_d \left[4\mu \left(\frac{H}{D} + \frac{h}{d} \right) + k \left(\frac{1}{2\alpha} + \frac{1}{\sqrt{3}} \ln \frac{S_0}{S_1} \right) \right] S_0 . \quad (5.128)$$

În cazul *extrudării profilelor tubulare* (fig. 5.7. b), apare în plus forța de frecare dintre semifabricat şi dorn F_{fsd}, de forma:

$$F_{fsd} = \pi \cdot d_d \cdot h_d \cdot \tau , \quad (5.129)$$

şi se obține pentru forța necesară extrudării P_{dt}, expresia

$$P_{dt} = 2R_d \left[4\mu \left(\frac{H}{D} + \frac{h}{d} + \frac{d_d \cdot h_d}{D^2} \right) + \left(\frac{1}{2\alpha} + \frac{1}{\sqrt{3}} \ln \frac{D^2 - d_d^2}{d^2 - d_d^2} \right) \right] \frac{\pi}{4} \left(D^2 - d_d^2 \right) \quad (5.130)$$

5.8.3.2. Calculul forței la extrudarea inversă

În cazul *extrudării inverse,* deoarece semifabricatul nu se deplasează față de camera de presare, nu va exista forța de frecare F_{fcp} şi expresia forței de extrudare a profilelor de secțiune circulară plină va fi:

$$P_i = 4R_d \left[4\mu \frac{h}{d} + \left(\frac{1}{2\alpha} + \frac{1}{\sqrt{3}} \right) \ln \frac{D^2}{d^2} \right] \cdot \frac{\pi D^2}{4} . \quad (5.131)$$

Forța de deformare la extrudarea inversă a profilelor necirculare P_{is} se deduce din relația (5.128) având forma:

$$P_{is} = 4R_d\left[4\mu\frac{h_{med}}{d_{ech}} + c\left(\frac{1}{2\alpha} + \frac{1}{\sqrt{3}}\right)\ln\frac{S_0}{S_1}\right]S_0, \qquad (5.132)$$

în care: h_{med} este înălțimea medie a matriței pe porțiunea de calibrare; d_{ech} – diametrul echivalent al profilului exterior.

Observație. Forțele necesare extrudării sunt foarte mari, de aceea, tendința generală este de a se găsi orice cale pentru reducerea acestora. Una din aceste căi este micşorarea substanțială a forțelor de frecare, folosind diferiți lubrifianți ca: sticla specială (sub formă de praf, vată sau țesătură, care depusă pe semifabricatul încălzit formează prin topire o glazură), uleiul mineral, grafitul sau diferite unsori speciale.

5.8.4. Produse obținute prin extrudare

Datorită avantajelor pe care le prezintă, extrudarea metalelor şi a aliajelor se aplică în următoarele cazuri:

- obținerea de produse finite sau profile complicate, care se pot fabrica şi prin alte procedee, dar care se execută mai economic prin procedeul extrudării;

- deformarea plastică prealabilă în vederea măririi posibilităților de obținere a unor piese complicate prin alte procedee de deformare;

- obținerea de piese finite sau profile complexe (fig. 5.68) care nu pot fi realizate prin alte procedee de prelucrare prin deformare plastică (laminare, forjare, tragere, matrițare etc.)

Câteva din cele mai des întâlnite produse obținute prin extrudare se prezintă în figura 5.68, deosebindu-se:

- barele, rotunde sau profilate, cu lungimea până la 20 m (fig. 5.68. a) şi diametrul de la câțiva mm până la 300 ... 400 mm;

- țevile, simple sau cu aripioare, cu grosimea peretelui de 0,025 mm la un diametru de 0,3 mm şi de 1,5...8,0 mm la un diametru de 350...400 mm (fig. 5.68.b);

- sârmele, cu diametrul mai mare de 5 mm (fig. 5.68. c);

- profilele simple (fig. 5.68. d), cu lungimi până la 15...20 m;

- profilele complexe (fig. 5.68. e), cu lungimi până la 10 m;

- elementele din schimbătoarele de căldură (fig. 5.68. f);

- elementele de radiatoare (fig. 5.68. g);

- tuburile şi recipienții (fig. 5.68. h) folosite pentru îmbutelierea unor produse alimentare sau cosmetice;

- recipienții bimetalici (fig. 5.68. i) folosiți în industria chimică şi alimentară.

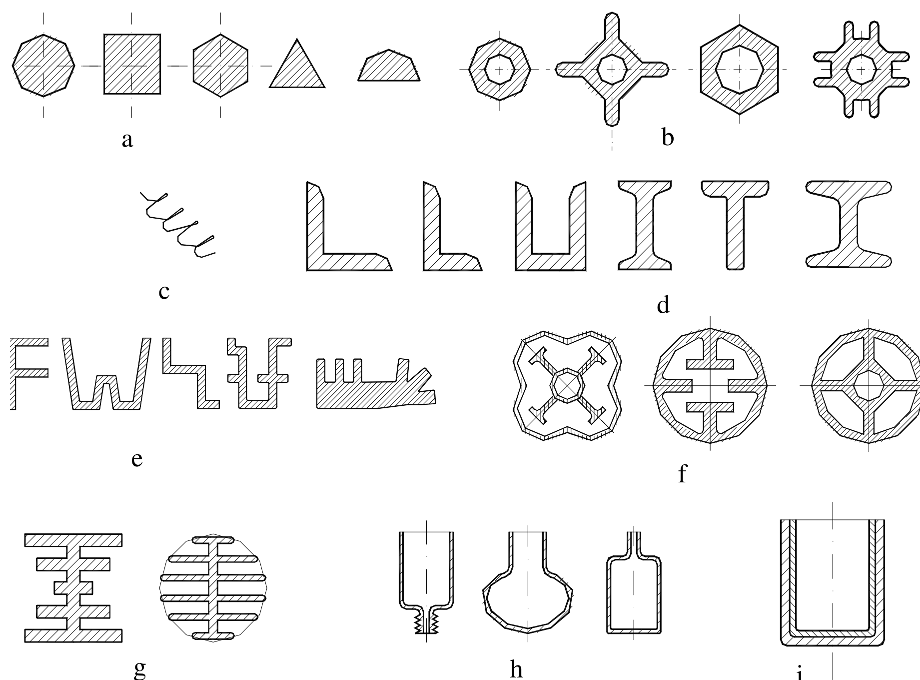


Fig. 5.68. Produse obținute prin extrudare:
a – bare; b – țevi; c – sârme; d – profile simple; e – profile complexe; f - elemente pentru schimbătoarele de căldură; g – radiatoare; h – butelii şi recipienți; i – recipienți bimetalici.

Produsele obținute prin extrudare au o precizie dimensională ridicată şi o rugozitate mică a suprafețelor ne mai necesitând prelucrări ulterioare prin aşchiere (în majoritatea cazurilor). De asemenea, proprietățile funcționale sunt îmbunătățite ca urmare a fenomenului de ecruisare ce apare în stratul superficial şi se pot obține produse şi din materiale cu plasticitatea scăzută.

5.8.5. Scule folosite la extrudare

În general, setul de scule pentru extrudare cuprinde *o matriță,* în care se produce deformarea semifabricatului şi *un poanson,* care sub acțiunea pistonului introduce forța de deformare şi realizează deformarea materialului. În funție de tipul extrudării, matrițele pot fi:

- matrițe pentru extrudarea directă (fig. 5.69. a);

- matrițe pentru extrudarea inversă (fig. 5.69. b);
- matrițe pentru extrudarea combinată.

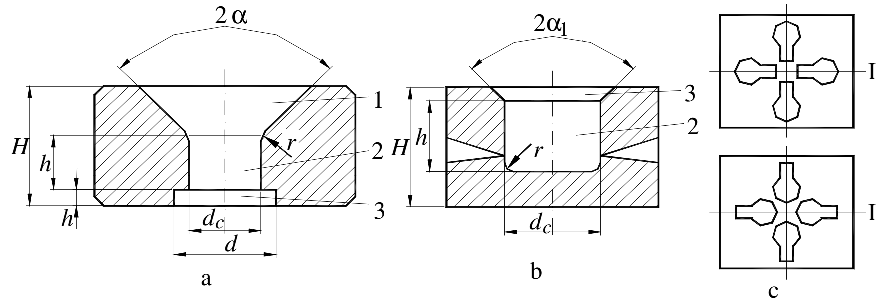


Fig. 5.69. Tipuri de matrițe folosite la extrudare:
a – pentru extrudarea directă b – pentru extrudarea inversă; c – matriță cu orificii multiple (I – amplasare corectă a orificiilor; II – amplasare necorespunzătoare); 1 – conul de deformare; 2 - cilindrul de calibrare; 3 - cilindrul de ieşire; 2α - unghiul de deformare; $2\alpha_1$ – unghiul de ieşire; *H* – înălțimea matriței; *h* – înălțimea zonei de calibrare; d_c - diametrul de calibrare; *r* –raza de racordare a cilindrului de calibrare.

Matrița pentru extrudare este formată din următoarele zone distincte (fig. 5.69):

- conul de deformare 1, caracterizat prin unghiul de deformare 2α;
- cilindrul de calibrare 2, caracterizat prin diametrul de calibrare d_c – înălțimea cilindrului *h* şi raza de racordare *r*;
- cilindrul de scăpare 3, caracterizat prin înălțimea h_1 şi diametrul d_s.

O atenție deosebită trebuie acordată unghiului de deformare 2α, care se alege în funcție de natura materialului de extrudat, astfel:

- $2\alpha < 90^o$, pentru materialele cu plasticitate scăzută;
- $2\alpha = 90...130^o$, pentru materialele cu plasticitate ridicată.

În ceea ce priveşte înălțimea de calibrare *h*, aceasta se ia constructiv ($h \approx \approx 5...15$ mm) în funcție de natura materialului de extrudat şi de configurația geometrică a produsului extrudat. Înălțimea de calibrare mică contribuie la micşorarea forței de deformare şi invers, dar înălțimea mare contribuie la prelungirea durabilității matriței.

Raza de racordare *r* are influență asupra procesului de curgere a materialului în timpul extrudării şi asupra calității produsului extrudat. Se alege în funcție de natura materialului de extrudat ($r \approx 1,0...2,0$ mm, pentru extrudarea aliajelor de aluminiu; $r = 2,0...5,0$ mm, pentru extrudarea aliajelor de cupru etc.).

Numărul orificiilor *n*, necesare a fi prelucrate pe matriță şi modul de amplasare al acestora (fig. 5.69. c) depind de secțiunea camerei de presare sau a semifabricatului S_s şi de raportul de extrudare λ ce trebuie realizat pentru asigurarea proprietăților cerute produsului finit:

$$n = \frac{S_s}{\lambda \cdot S_p} \quad . \qquad (5.133)$$

Alegerea numărului de orificii ale matriței depinde şi de volumul producției, posibilitățile de proiectare şi execuție ale matrițelor şi distanțele minime ce pot fi admise între două orificii vecine, din punctul de vedere al rezistenței materialului matriței.

Poansonul pentru extrudare are o formă constructivă care diferă de tipul extrudării doar prin forma zonei active (fig 5.70). Se compune din zona de prindere 1, corpul poansonului 2 şi zona activă 3. Forma zonei active a poansonului la extrudare directă (fig. 5.70. b) diferă de forma zonei active de la extrudarea inversă (fig. 5.70. c).

Materialele din care se confecționează sculele pentru extrudare sunt:

- oțelurile carbon de scule, pentru extrudarea materialelor cu plasticitate foarte ridicată;

- oțelurile rapide şi carburile metalice, pentru extrudarea materialelor cu plasticitate redusă.

Pentru creşterea durabilității lor şi mărirea rezistenței zonelor active, sculele se prelucrează fin şi se tratează termic până la o duritate de 55 ... 65 HRC.

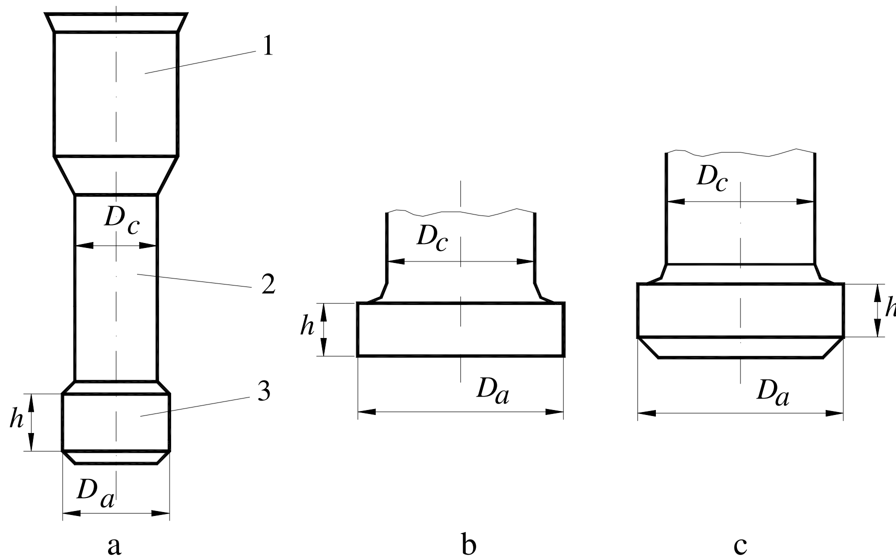


Fig. 5.69. Construcția poansonului folosit la extrudare:
a – construcția generală: 1 – zona de prindere; 2 – corpul poansonului; 3 –zona activă; b – zona părții active a unui poanson folosit la extrudarea directă; c – zona părții active a unui poanson folosit la extrudarea inversă; D_a – diametrul părții active; D_c – diametrul corpului poansonului; h – înălțimea zonei active.

5.8.6. Criterii de alegere a condițiilor de extrudare

Principalii factori de care depinde procesul de extrudare sunt *gradul de deformare* (*raportul de extrudare*) şi *viteza de extrudare.*

Gradul de deformare λ se exprimă prin raportul dintre secțiunile transversale S_s şi S_p (ale semifabricatului şi respectiv ale produsului extrudat), masele unitare m_s şi m_p sau raportul lungimilor corespunzătoare L_s şi L_p, adică:

$$\lambda = \frac{S_s}{n \cdot S_p} = \frac{m_s}{m_p} = \frac{n \cdot L_p}{L_s} \quad , \tag{5.134}$$

în care: *n* este numărul profilelor extrudate simultan.

Valoarea raportului de extrudare se alege în funcție de:

- *compoziția chimică* şi *proprietățile materialului supus extrudării,* astfel: cu cât procentul de elemente însoțitoare sau elemete de aliere este mai ridicat cu atât raportul de extrudare va fi mai mic (de exemplu, la aluminiu, raportul de extrudare este 1 000, la aliajele Al – Mn acesta scade la 500, iar la aliajele de tip duraluminiu nu depăşeşte 80);

- *temperatura de extrudare* – cu creşterea temperaturii, raportul de extrudare se poate mări, deoarece materialul are proprietăți de plasticitate mai bune;

- *forța asigurată de utilajul de extrudare* – raportul de extrudare creşte direct proporțional cu valoarea forței maxime ce poate fi dezvoltată de utilajul folosit la extrudare;

- *viteza de extrudare,* v_e, este definită de lungimea de produs extrudat ce părăseşte orificiul matriței în unitatea de timp. Între viteza de extrudare şi viteza de deplasare a poansonului v_p există o relație de forma

$$v_e = \lambda \cdot v_p \; . \tag{5.135}$$

Valoarea gradului de deformare este legată direct de mărimea vitezei de extrudare şi deci de mărimea vitezei poansonului v_p. Viteza de extrudare depinde de compoziția chimică a materialului de extrudat, de configurația geometrică a produsului extrudat şi de grosimea pereților produsului extrudat. Dependența dintre viteza poansonului v_p şi gradul de extrudare logaritmic se prezintă în figura 5.71;

- *proprietățile mecanice impuse produselor extrudate.* Experimental s-a constatat că pe măsură ce raportul de extrudare este mai mare, cresc şi proprietățile de rezistență ale produselor extrudate (R_m, R_c), dar scad proprietățile de plasticitate (A, Ψ). De aceea trebuie ales un astfel de raport de extrudare care să permită obținerea caracteristicilor cerute produselor extrudate în condițiile unor tensiuni interne cât mai mici.

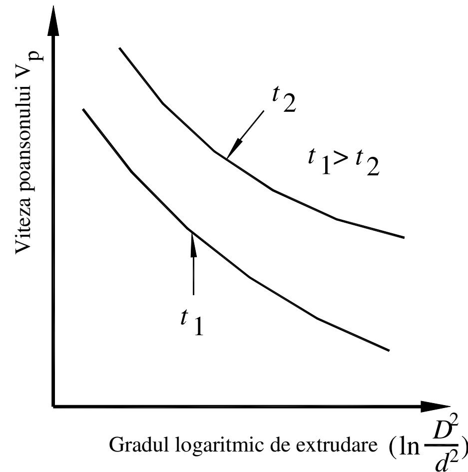


Fig. 5.71. Dependența vitezei poansonului v_p de gradul logaritmic de extrudare.

5.8.7. Defectele produselor extrudate

În cazul deformării plastice prin extrudare, cele mai frecvente defecte ce pot apărea sunt:

- *fisurile la muchiile produselor extrudate,* ca rezultat al adoptării unor raze de racordare necorespunzătoare la poanson şi la matrița folosită la extrudare;
- *crăpăturile sub formă de solzi,* ca rezultat al curgerii mai rapide a zonei centrale față de cea periferică (apar la extrudarea la cald ca urmare a temperaturii mult mai scăzute a matriței în comparație cu cea a semifabricatului);
- *abaterile dimensionale*, datorită uzurii accentuate a matriței, în special în zona de calibrare;
- *rizurile* şi *zgârieturile longitudinale,* datorită unor puncte reci de sudură a materialului extrudat de pereții matriței sau datorită frecării produsului extrudat pe transportoarele sau patul de răcire al presei folosite la extrudare;
- *răsucirile,* datorită neuniformității deformației în zona de deformare a matriței, cauzată de neuniformitatea coeficientului de frecare la interfața matriță - semifabricat de extrudat.

Cunoaşterea tipurilor de defecte ce pot apare permite înlăturarea cauzelor care le produc şi evitarea apariției acestora.

5.8.8. Tehnologia extrudării

Realizarea unui produs extrudat presupune parcurgerea într-o succesiune logică a următoarelor etape importante:

1. Alegerea semifabricatului inițial – în funcție de produsul extrudat; dimensiunile de gabarit; volumul de producție şi configurația geometrică;

2. Debitarea la dimensiuni se face aplicând legea volumului constant;

3. Controlul inițial – un control nedistructiv cu ultrasunete, radiații penetrante, lichide penetrante, prin emisie acustică, cu pulberi magnetice sau curenți turbionari;

4. Tratamentul termic inițial – de regulă recoacerea de înmuiere, în vederea creşterii proprietăților de plasticitate;

5. Stabilirea parametrilor regimului de încălzire (dacă extrudarea se face la cald) – în funcție de natura materialului de extrudat, productivitate, volumul de producție şi tipul produsului extrudat;

6. Alegerea utilajului de încălzire în vederea extrudării – în funcție de natura materialului de extrudat, volumul producției, productivitatea şi dimensiunile de gabarit ale semifabricatului;

7. Încălzirea în vederea extrudării – la temperatura de început de deformare plus 10...20º C;

8. Pregătirea suprafeței în vederea extrudării – prin curățire, decapare, fosfatare, lubrifiere;

9. Alegerea utilajului pentru extrudare – în funcție de natura materialului de extrudat, tipul produsului extrudat, configurația geometrică; dimensiunile de gabarit şi volumul de producție;

10. Extrudarea propriu-zisă;

11. Operații de completare – în funcție de configurația geometrică şi dimensiunile de gabarit se face debitarea la dimensiuni, găurirea, calibrarea etc.;

12. Tratamentul termic final – în funcție de destinația produsului extrudat;

13. Controlul tehnic final – se controlează dimensiunile, calitatea suprafeței şi uneori, proprietățile stratului superficial.

5.8.9. Procedee speciale de extrudare

Studiile şi cercetările în domeniul extrudării sunt intense în ultimii ani şi au drept scop îmbunătățirea procesului tehnologic de extrudare prin: reducerea forțelor necesare extrudării; creşterea calității produselor extrudate; extrudarea unor produse din materiale cu plasticitate scăzută şi obținerea de produse cu configurație geometrică complexă care să nu mai necesite prelucrări prin aşchiere.

În acest sens, au aplicabilitate largă următoarele procedee: extrudarea hidrostatică, extrudarea prin explozie, extrudarea în câmp ultrasonor, prelucrarea prin extrudare – forjare, prelucrarea prin extrudare – matrițare etc.

5.8.9.1. Extrudarea hidrostatică

La acest procedeu materialul este forțat să treacă prin matriță sub acțiunea

unui lichid sub presiune (fig. 5.72). Semifabricatul 1 se introduce în camera de presare 2, în care se introduce fluidul 3 care este comprimat cu pistonul 4. Semifabricatul este supus la compresiune din toate părțile de către fluidul sub presiune şi obligat să treacă prin matrița 5, fixată în suportul port-matriță 6, rezultând produsul extrudat 7. Faptul că materialul nu vine în contact direct cu pereții matriței conduce la disparitia forțelor de frecare la interfața material – cameră de presare. De asemenea, o dată cu trecerea materialului prin matriță se deplasează şi o cantitate mică de fluid ce formează o peliculă fină 8, între semifabricat şi matriță. Sunt necesare deci forțe de extrudare mult mai mici sau este posibilă extrudarea unor materiale cu plasticitate redusă.

Prin acest procedeu se pot realiza reduceri de secțiune foarte mari (10 000 : 1, pentru Al 99,5 ; 200 : 1, pentru aliaje de Al ; 50 : 1, pentru Cu ; 10 : 1, pentru oțel moale ; 4 : 1, pentru oțel rapid etc.) Prin acest procedeu se realizează sârmele foarte subțiri (0,01...0,5 mm) din colaci. De asemenea, se pot realiza microfire din Au sau aliajele sale cu diametre de 25...50 μm.

Marele dezavantaj al acestui procedeu constă în dificultatea realizării unor presiuni mari de lucru (15 000...35 000 daN/cm^2) şi în etanşarea camerei de presare.

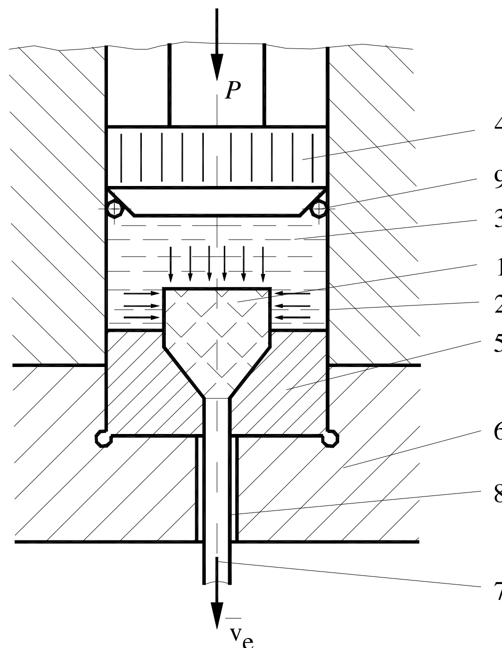


Fig. 5.72. Schema de principiu la extrudarea hidrostatică :
1 – semifabricat ; 2 – cameră de presare ; 3 – fluid sub presiune ; 4 –piston ; 5 – matriță ; 6 – suport port-matriță ; 7 – produsul extrudat ; 8 – peliculă de fluid ; 9 – garnituri de etanşare.

5.8.9.2. Extrudarea prin explozie

Procedeul foloseşte unda de şoc creată prin detonarea unui exploziv în vederea realizării forțelor necesare extrudării. Prelucrarea se face în încăperi închise utilizându-se *explozivi lenți* pentru piese de dimensiuni mici şi *explozivi brizanți* pentru produse extrudate de dimensiuni mari. Schema de principiu a procedeului se prezintă în figura 5.73.

Semifabricatul 1 se introduce în camera de presare 2, fiind forțat de pistonul 3 să treacă prin matrița 4 fixată în suportul port – matriță 5, rezultând produsul extrudat 6. Pistonul este acționat de unda de şoc 7, creată prin detonarea explozivului 8 aşezat în camera specială 9, cu ajutorul dispozitivului 10.

Procedeul se aplică la extrudarea materialelor cu plasticitate foarte scăzută, fiind un procedeu de prelucrare cu viteză mare de deformare. Principalul dezavantaj este dat de dificultățile lucrului cu explozivi.

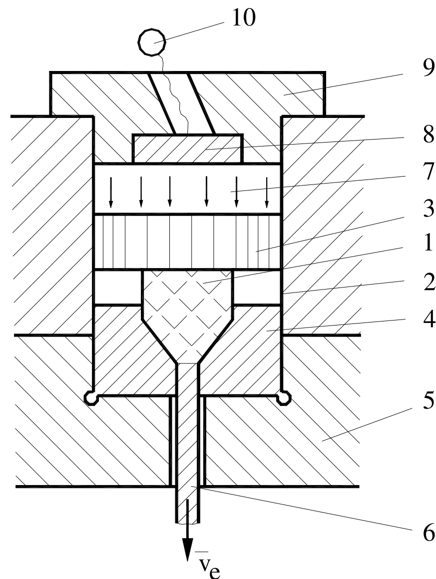


Fig. 5.72. Schema de principiu la extrudarea prin explozie:
1 – semifabricat ; 2 – camera de presare ; 3 – piston ; 4 – matrița ; 5 – suport port – matriță;
6 – produs extrudat ; 7 – unda de şoc ; 8 – exploziv ; 9 – camera specială ; 10 – detonator.

5.8.9.3. Extrudarea în câmp ultrasonor

Procedeul foloseşte *efectul de suprafață* al undelor ultrasonore ce constă în reducerea substanțială a forțelor de frecare, cu 20...70%, şi *efectul de volum* al undelor ultrasonore, ce constă în creşterea plasticității cu 30...70% şi reducerea cu 40...80% a forțelor necesare extrudării. Eficiența procedeului depinde în primul

rând de modul de introducere a energiei ultrasonore în focarul de deformare. În funcție de configurația geometrică a produsului extrudat şi de natura materialului se deosebesc următoarele posibilități de introducere a energiei ultrasonore în focarul de deformare: activarea ultrasonică a matriței; activarea ultrasonică a poansonului ; activarea ultrasonică şi a poansonului şi a matriței. Schema de principiu a extrudării în câmp ultrasonor cu activarea ultrasonică a matriței se prezintă în figura 5.74.

Semifabricatul 1, introdus în camera de presare 2, este forțat să treacă prin matrița 3 sub acțiunea pistonului 4. Matrița 3 este fixată în vârful concentratorului de energie ultrasonoră 5, ce vibrează cu frecvența de 18 – 42 kHz şi amplitudinea oscilațiilor longitudinale A = 12,5 ... 125 μm. Concentratorul de energie ultrasonoră este fixat prin intermediul flanşei nodale 6, de transductorul ultrasonor 7 ce converteşte oscilațiile electrice ale generatorului de înaltă frecvență 8, în oscilații macanice cu frecvență ultrasonoră. Sistemul ultraacustic este răcit în permanență cu un lichid de răcire 9 şi izolat acustic 10. Diagrama 11 arată variația amplitudinii vitezei particulei în lungul sistemului ultraacustic.

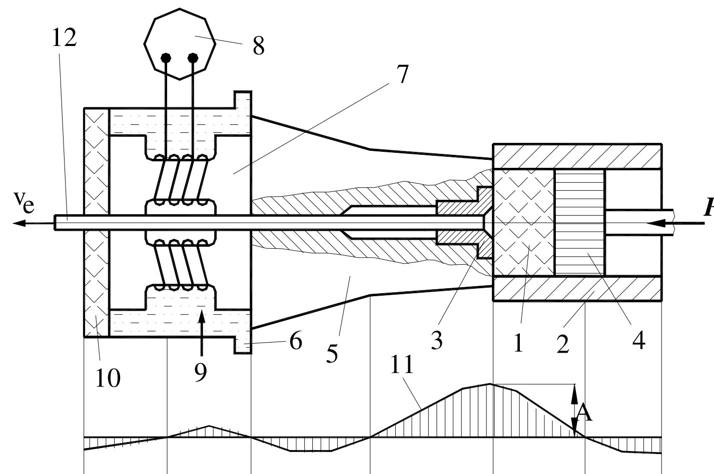


Fig. 5.74. Schema de principiu la extrudarea în câmp ultrasonor :
1 – semifabricat ; 2 – camera de presare ; 3 – matriță ; 4 – poanson ; 5 –concentrator de energie ultrasonoră ; 6 – flanşă nodulă ; 7 – transductor ultrasonor ; 8 – generator de ultrasunete ; 9 – lichid de răcire ; 10 – izolant acustic ; 11 – diagrama de variație a amplitudinii vitezei particulei în lungul sistemului ultraacustic ; 12 – produsul extrudat.

Procedeul se aplică la extrudarea materialelor greu deformabile, conducând la o însemnată creştere a productivității şi la îmbunătățirea netă a calității suprafeței şi a preciziei dimensionale pentru produsul extrudat. Dezavantajele sunt legate de calculul şi construcția sistemului ultraacustic care trebuie să funcționeze în regim de rezonanță.

5.8.9.4. Prelucrarea prin forjare – extrudare

Procedeul se aplică acolo unde semifabricatul inițial are secțiunea transversală mai mare decât cea corespunzătoare celei mai mici cavități a matriței şi mai mică decât cavitatea cu dimensiunile maxime. De aceea, în prima etapă, deformarea începe cu o uşoară refulare a semifabricatului în cavitatea cu dimensiuni maxime, pentru ca, în a doua etapă, să se producă curgerea prin extrudare a materialului în deschiderea cu dimensiuni mai mici. După ce cavitatea cu dimensiuni maxime este umplută, semifabricatul a luat forma cavității se continuă extrudarea propriu-zisă, care presupune dizlocarea materialului în direcția unde rezistența la deformare a rămas maximă, respectiv în direcția cavității cu dimensiuni mai reduse.

În acest fel se pot realiza piese care la unul din capete au forme mai complexe care necesită matrițări, iar corpul poate fi de forma tijelor cu dimensiuni transversale mici şi dimensiuni longitudinale mari. Câteva tipuri de piese ce pot fi obținute prin acest procedeu de prelucrare se prezintă în figura 5.75.

La proiectarea tehnologiilor de matrițare – extrudare trebuie ținut cont de influența forțelor de frecare asupra desfăşurării procesului. Dacă extrudarea are loc direct, mai întâi se realizează refularea în vederea matrițării. Pentru piese mai complexe se stabileşte o succesiune de faze de deformare (fig. 5.76) prin care materialul să treacă treptat de la semifabricatul inițial la piesa finită.

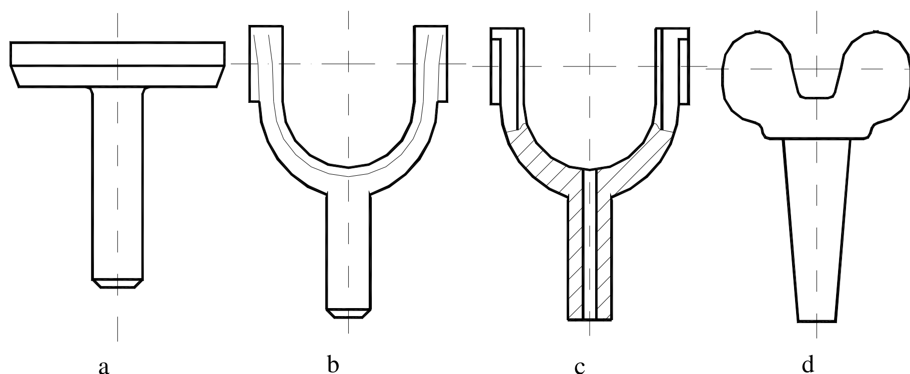


Fig. 5.75. Câteva tipuri de piese obținute prin combinarea extrudării şi matrițării:
a – supape; b – furci simple; c – furci cu alezaje perpendiculare; d – piulițe fluture.

Când piesele au lungimea porțiunii care se extrudează mare, matrițele se execută cu prag de extrudare în scopul reducerii frecărilor.

Este de aşteptat ca, pe măsură ce apar noi materiale, cu proprietăți cu totul şi cu totul deosebite, să apară şi noi tehnologii de extrudare care să permită obținerea eficientă a produselor extrudate din aceste materiale.

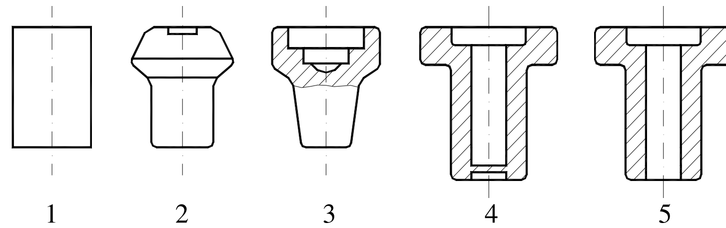


Fig. 5.76. Succesiunea fazelor tehnologice la prelucrarea prin matrițare – extrudare a unei piese tubulare:
1 – semifabricat inițial; 2 – refulare; 3 – pregătire prin forjare; 4 – găurire prin matrițare; 5 – extrudare şi obținere piesă finită.

5.9. TRAGEREA – TREFILAREA

5.9.1. Definire şi scheme de principiu

Tragerea este procedeul de prelucrare prin deformare plastică a materialelor ce constă în trecerea forțată a materialului prin deschiderea unei scule, a cărei secțiune este mult mai mică decât secțiunea inițială a materialului, sub acțiunea unei forțe de tracțiune.

Dacă semifabricatul inițial are diametrul mai mic de 10 mm şi produsul obținut prin tragere este de tipul sârmelor, cu diametre mai mici de 5 mm, atunci procedeul se numeşte *trefilare*, iar scula folosită la deformare se numeşte *filieră.*

Dacă semifabricatul inițial are diametrul mai mare de 10 mm şi produsul obținut este de tipul barelor, țevilor sau profilelor, atunci procedeul se numeşte *tragere*, iar scula folosită la deformare se numeşte *matriță.*

Schema de principiu a procedeului se prezintă în figura 5.77.

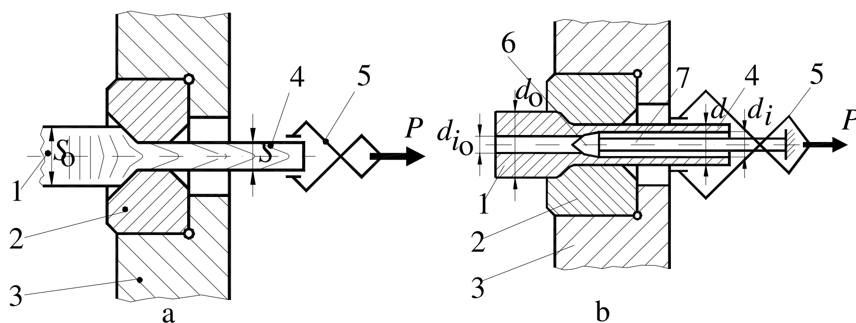


Fig. 5.77. Schema de principiu la tragere:
1 – semifabricatul inițial; 2 – matriță; 3 – suport port – sculă; 4 – produsul tras; 5 – dispozitiv de tragere; 6 – dorn; 7 – tijă – suport.

Semifabricatul inițial 1, de secțiune inițială S_0 este forțat să treacă prin scula de deformare 2, fixată în suportul portsculă 3, sub acțiunea forței de tracțiune *P*, introdusă cu ajutorul dispozitivului de tragere 5. La tragerea țevilor (fig. 5.76. b) se foloseşte un dorn (dop) 6, fixat pe o tijă - suport 7, care uniformizează grosimea peretelui țevii şi dă diametrul interior d, al acesteia.

Procedeul de tragere prezintă o serie de avantaje față de alte procedee de prelucrare prin deformare plastică:

- permite obținerea de produse cu o precizie dimensională ridicată şi cu o înaltă calitate a suprafeței;

- permite obținerea de produse cu secțiune plină sau secțiune tubulară, greu sau imposibil de obținut prin alte procedee;

- combinat cu o serie de tratamente termice permite obținerea de produse cu proprietăți mecanice ridicate (de exemplu, rezistența la rupere poate creşte de 2,5...3,5 ori);

- dacă se efectuează la temperatura mediului ambiant, când deformarea plastică este însoțită de ecruisare, permite îmbunătățirea substanțială a unor proprietăți funcționale ale produsului obținut.

5.9.2. Bazele teoretice ale tragerii – trefilării

Tragerea se deosebeşte de laminare prin aceea că materialul din exteriorul semifabricatului tras rămâne în urmă față de cel din mijloc (fig. 5.77. a), spre deosebire de laminare, unde situația este inversă. La tragere, modificarea secțiunii semifabricatului se produce, în principal, sub acțiunea forțelor transversale de compresiune, exercitate de pereții sculei de deformare. La început se deformează numai acei grăunți care au planele de alunecare în direcția forțelor exercitate de pereții matriței, iar pe măsură ce materialul înaintează prin conul de deformare al sculei se deformează şi ceilalți grăunți, indiferent de orientarea planurilor de alunecare.

La tragere – trefilare, interacțiunea dintre materialul de deformat şi scula de deformare se caracterizează prin existența frecării pe întreaga suprafață de contact. Aceasta influențează asupra stării de tensiune şi determină o distribuție neuniformă a deformației pe secțiune. De asemenea, în timpul deformării, forțele de frecare exercită o acțiune de reținere a materialului de la suprafața semifabricatului, ceea ce creează condițiile pentru apariția unor diferențe între vitezele longitudinale pe secțiune.

În urma deformării materialului prin tragere – trefilare au loc, pe lângă modificările structurale, şi o serie de modificări geometrice, caracterizate prin următoarele mărimi:

- reducerea absolută de secțiune ΔS, dată de relația:

$$\Delta S = S_0 - S_1 \; ; \qquad (5.136)$$

- reducerea relativă de secțiune Δ, dată de relația:

$$\Delta = \frac{S_0 - S}{S_0} = \frac{d_0^2 - d^2}{d_0^2} \quad ; \tag{5.137}$$

- reducerea procentuală de secțiune Δ*p*, dată de relația:

$$\Delta_p = \frac{S_0 - S}{S_0} \cdot 100 = \frac{d_0^2 - d^2}{d_0^2} \cdot 100 \quad [\%] \quad ; \tag{5.138}$$

- lungirea absolută λ_a, dată de relația:

$$\lambda_a = l - l_0 \; ; \tag{5.139}$$

- lungirea relativă λ, dată de relația:

$$\lambda = \frac{l - l_0}{l_0} \quad ; \tag{5.140}$$

- lungirea procentuală λ_p, dată de relația:

$$\lambda_p = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100 \quad [\%] \; ; \tag{5.141}$$

- coeficientul de lungire μ, dat de relația:

$$\mu = \frac{l}{l_0} \quad ; \tag{5.142}$$

- coeficientul reducerii de secțiune *K*, dat de relația:

$$K = \frac{S}{S_0} \quad . \tag{5.143}$$

Mărimile caracteristice definite mai sus sunt absolut necesare a fi luate în considerare la proiectarea oricărui proces tehnologic de tragere – trefilare.

5.9.3. Calculul forței de tragere şi a numărului de treceri

Pentru proiectarea sculelor necesare tragerii şi alegerea instalațiilor de tragere este necesară cunoaşterea forței necesare deformării prin tragere şi a numărului de treceri corespunzătoare.

5.9.3.1. Calculul forței de tragere

Pentru calculul forței de tragere se întâlnesc în literatura de specialitate mai multe relații de calcul, stabilite luând în considerare diferite ipoteze, care diferă mai

mult sau mai putin între ele. Indiferent de ipotezele admise, forța de tragere *P* se determină luând în considerare forțele ce acționează asupra materialului în timpul procesului de tragere (fig. 5.78) şi anume:

- forța de frecare la interfață semifabricat – con de deformare, F_{fcd};
- forțele de frecare la interfața semifabricat – cilindru de calibrare, F_{fcc};
- reacțiunile normale în conul de deformare, N_{α};
- reacțiunile normale în clindrul de calibrare, N_0;

Prin urmare, forța de tragere *P*, are două componente:

$$P = P_1 + P_2\,, \tag{5.144}$$

în care: P_1 este forța necesară trecerii materialului prin cilindrul de calibrare şi are o expresie de forma:

$$P_1 = \mu \cdot \pi \cdot l_1 \cdot R_c, \tag{5.145}$$

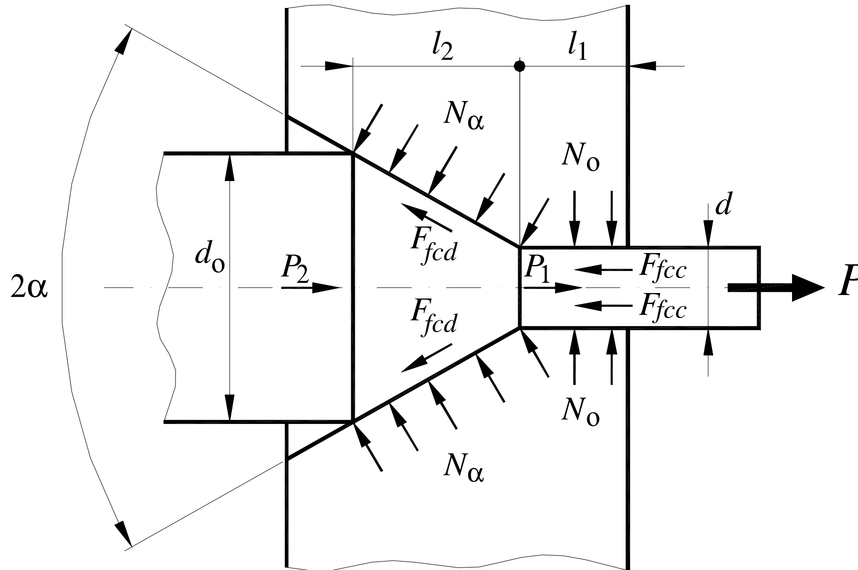


Fig. 5.78. Distribuția forțelor la tragerea secțiunilor pline:
P – forța necesară tragerii; F_{fcc} – forța de frecare în cilindrul de calibrare; F_{fcd} – forța de frecare în conul de deformare; N_α - reacțiunea normală a sculei de deformare asupra materialului în conul de deformare; N_0 – reacțiunea normală în cilindrul de calibrare

iar P_2 este forța necesară trecerii materialului prin conul de deformare şi se determină luând în considerare forțele ce acționează în această zonă, având o expresie de forma:

$$P_2 = (1 + \mu \cdot \text{ctg}\alpha)\frac{\pi}{4}\left(d_0^2 - d^2\right)R_c\ . \tag{5.146}$$

Prin însumare şi o prelucrare convenabilă rezultă pentru forța de tragere P o expresie de forma:

$$P = 2R_c\left[4\mu\frac{l_1}{d} + (1+\mu\cdot\text{ctg}\alpha)\frac{d_0^2 - d^2}{d_0^2}\right]\cdot\frac{\pi d^2}{4}, \qquad (5.147)$$

în cazul secțiunilor rotunde, şi:

$$P = 2R_c\left[4\mu\frac{l_1}{d} + (1+\mu\cdot\text{ctg}\alpha)\frac{S_0 - S^2}{d_0}\right]\cdot S, \qquad (5.148)$$

în cazul secțiunilor oarecare, unde: μ este coeficientul de frecare dintre material şi scula de deformare; R_c – rezistența la curgere a materialului de tras ; d_0 – diametrul inițial al semifabricatului; d - diametrul final al produsului tras; α - unghiul de deformare ; l_1 – lungimea porțiunii de calibrare; l_2 – lungimea conului de deformare.

Din analiza relațiilor de calcul a forței de tragere se constată că asupra acesteia influențează:

- coeficientul de frecare μ (o forță de tragere mică presupune o ungere bună care se realizează numai pentru un unghi α optim, specific pentru fiecare material în parte);

- raportul l_1/d (un raport mic asigură o forță de tragere redusă, dar acesta este limitat de uzura pronunțată a sculei ce poate apare pe porțiunea de calibrare);

- înclinația de tragere (unghiul de deformare) α (se alege în funcție de natura materialului astfel: $\alpha < 45^o$ pentru materiale cu plasticitate scăzută ; $\alpha < 65^o$, pentru materiale cu plasticitate ridicată).

5.9.3.2. Calculul numărului de treceri

Numărul de treceri n, necesare pentru a ajunge de la diametrul inițial d_0 la un diametru final d_n, se poate determina pornind de la coeficientul de reducere k, scris sub forma:

$$k = \frac{d_1^2}{d_0^2}, \qquad (5.149)$$

din care se deduce

$$d_1^2 = k\cdot d_0^2\text{, adică } d_1 = \sqrt{k}\cdot d_0, \qquad (5.150)$$

Deoarece k este destul de mic, se poate aproxima

$$d_1 = k\cdot d_0, \qquad (5.151)$$

şi prin analogie, din considerente de rezistență a materialului

$$d_2 = k \cdot d_1 = k^2 \cdot d_0\,;\ d_3 = k \cdot d_2 = k^3 \cdot d_0;\ ...\ d_n = k \cdot d_{n-1} = k^n \cdot d_0\,. \quad (5.152)$$

Prin logaritmarea relației (5.152) rezultă pentru numărul de treceri n, relația

$$n = \frac{\ln d_n - \ln d_0}{\ln k}\,. \quad (5.153)$$

Din calcule şi pe baza rezultatelor experimentale a rezultat că la o tragere nu se poate realiza o reducere prea mare şi pentru a nu se produce deteriorarea porțiunii trase, trebuie îndeplinită condiția:

$$d_1 \geq (0{,}75\ ...\ 0{,}80)\ d_0\,. \quad (5.153)$$

5.9.4. Scule şi dipozitive folosite la tragere – trefilare

Sculele de bază folosite pentru trefilare se numesc filiere şi au o construcție diferențiată în funcție de condițiile de lucru şi proprietățuile materialului din care se execută. O secțiune printr-o filieră simplă se prezintă în figura 5.79. a, iar printr-o filieră compusă în figura 5.79. b. Zonele principale ale unei filiere, stabilite în urma cercetarilor experimentale, sunt:

- conul de intrare 1, care are rolul de a face o trecere lentă a semifabricatului spre filieră;
- conul de ungere 2, care asigură lubrifierea semifabricatului, caracteriazat prin unghiul de ungere β = 40...60º;
- conul de deformare 3, caracterizat prin unghiul de deformare (tragere) 2α, care trebuie să aibă valorile 2α = 8 – 24º, în funcție de plasticitatea materialului de deformat;
- cilindrul de calibrare 4, care asigură uniformitatea dimensională a produsului tras şi durata de lucru a filierei;
- conul de degajare 5, care are drept scop evitarea ruperii muchiei filierei şi împiedicarea ruperii materialului la ieşirea din cilindrul de calibrare, datorită revenirii elastice a acestuia;
- conul de ieşire 6, care determină repartizarea solicitărilor în interiorul materialului filierei, evitând suprasolicitarea unor părți din muchiile filierei. Se caracterizează prin unghiul de ieşire γ = 60…90°.

Filierele se execută din fonte speciale de înaltă rezistență (3%C ; 0,25%Mn ; 1%Si şi 2%Cr), din oțeluri speciale (2%C şi 10...15%Cr), din carburi metalice dure de molibden şi wolfram (8%Co, 87%W, 3%C şi 2%Mo) şi din diamant tehnic pentru filierele folosite la trefilarea firelor ultrasubțiri (cu ∅ < 0,15 mm).

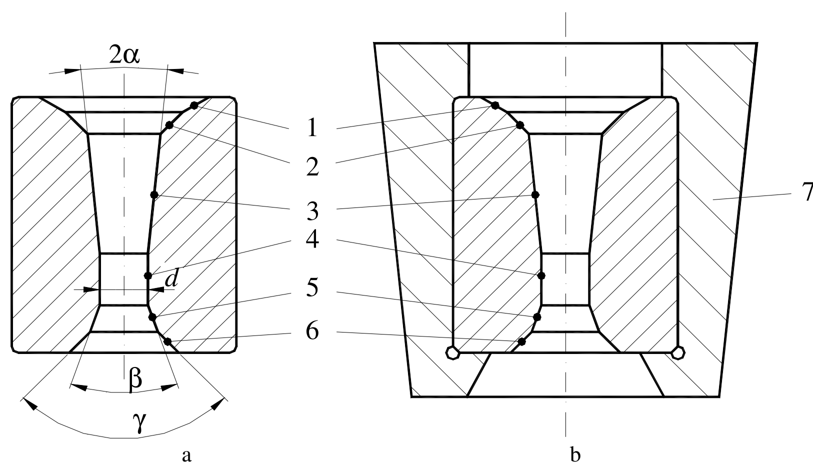


Fig. 5.79. Secțiune printr-o filieră:
a – simplă; b – compusă: 1 – conul de intrare; 2 – conul de ungere; 3 - conul de deformare; 4 – cilindrul de calibrare; 5 – conul de degajare; 6 – conul de ieşire; 7 – maşon – suport; 2α - unghiul de deformare; β - unghiul de degajare; γ - unghiul de ieşire.

Pentru a evita deteriorarea filierei în procesul de exploatare, acestea se montează cu o strângere prealalbilă în manşonul de protecție 7 (fig. 5.79. b).

Sculele folosite la tragere sunt matrițele de diferite construcții, funcție de tipul produselor trase. O secțiune printr-o matriță folosită la tragere scoate în evidență următoarele zone (fig. 5.80): conul de deformare 1; cilindrul de calibrare 2 şi conul de ieşire 3. Construcția matrițelor diferă de cea a filierelor, ele având următoarele caracteristici constructive: unghiul conului de deformare $2\alpha = 12...36°$, lungimea părții calibrate $b = 1...8$ mm; unghiul conului de ieşire $\gamma = 60°$.

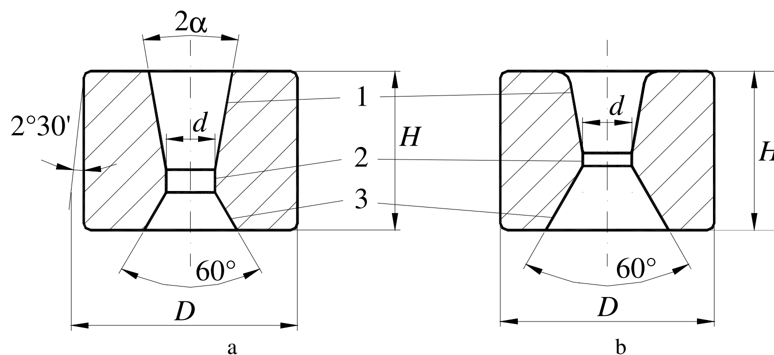


Fig. 5.80. Matrițe pentru tragere:
a – pentru bare rotunde; b – pentru țevi rotunde;
1 – conul de deformare. 2 – clindrul de calibrare; 3 – conul de ieşire.

Duritatea suprafeței orificiului de tragere trebuie să fie de circa 60...70 HRC şi se obține în urma unor tratamente termice specifice. Pentru tragerea țevilor, pe lângă matrițe, din sculele de tragere mai fac parte şi *dornurile*, care pot fi lungi sau scurte. Dornurile se execută din oțeluri de scule şi aliaje dure, iar pentru creşterea rezistenței la uzură a acestora se procedează la cromare şi tratarea termică a acestora până la 60...65 HRC.

Utilajele folosite la tragere – trefilare se clasifică după figura 5.81.

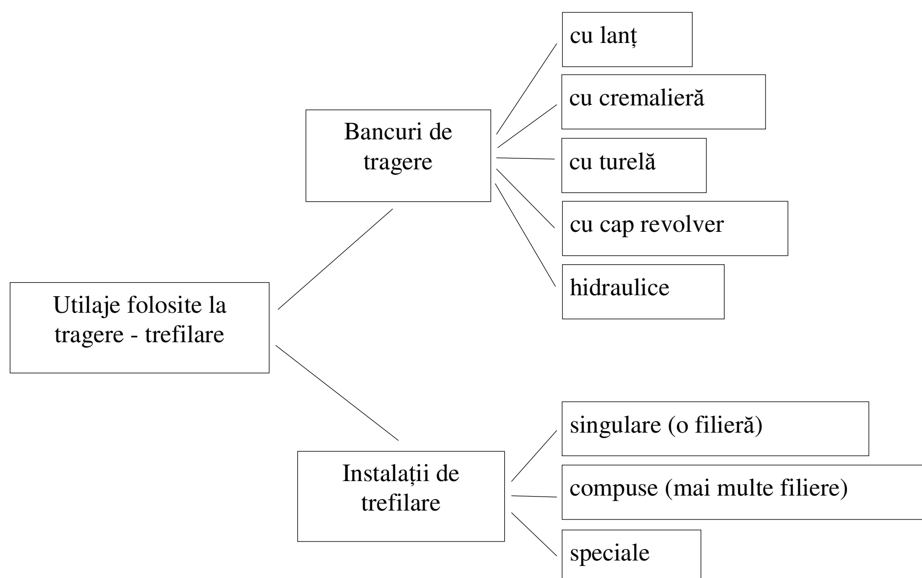


Fig. 5.81. Utilajele folosite la tragere – trefilare.

Bancul de tragere cu lanț este reprezentat schematic în figura 5.82.

Semifabricatul inițial 1 trece prin vasul de ungere 2 şi prin matrița 3, fiind tras de dispozitivul 4, montat pe cărucioral 5, ce se deplasează pe patul de tragere 6. Căruciorul este antrenat de lanțul 7, de tip Gall, prin intermediul dispozitivului 8. Lanțul Gall este antrenat la rândul său de roata de antrenare în stea 9, rezultând în final produsul tras 10. Lungimea produsului tras este limitată de lungimea lanțului Gall. Bancurile de tragere cu lanț cu o lungime de până la 15 m dezvoltă o forță de tragere de 1,5...2,0 MN. Aceste bancuri de tragere permit tragerea barelor cu diametrul inițial ≤ 150mm şi a țevilor cu ∅ ≤ 200 mm. Se pot trage şi simultan mai multe bare (până la 10). Viteza de tragere la prelucrarea produselor relativ scurte (5...8m) este de ordinul 0,03...0,65m/s, iar la tragerea produselor lungi viteza de tragere poate atinge 1,2...2,0 m/s.

Dezavantajele bancurilor de tragere cu acționare mecanică sunt înlăturate de *bancurile de tragere acționate hidraulic* (fig. 5.83). Semifabricatul 1, după ce

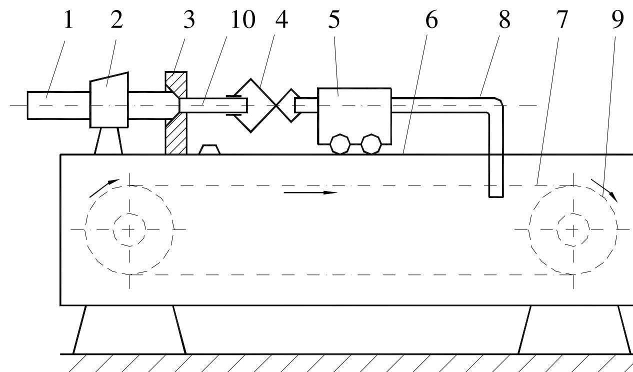


Fig. 5.82. Schema de principiu a unui banc de tragere cu lanț cu acționare mecanică: 1 – semifabricatul inițial; 2 – vasul de ungere; 3 – matrița; 4 – dispozitivul de tragere; 5 – căruciorul; 6 – patul de tragere; 7 – lanțul Gall; 8 – dispozitivul de tragere; 9 – roata de antrenare; 10 – produsul tras.

trece prin vasul de ungere 2, este forțat să treacă prin matrița 3, fiind tras de mandrinele 4 şi 5 ce acționează succesiv asupra produsului tras 6. Mandrinele execută o mişcare alternativă de translație, astfel: în timp ce mandrinele 4 execută cursa activă I, mandrinele 5, execută cursa pasivă I′, pentru ca, după terminarea cursei, mandrinele 4 să se desfacă şi să execute cursa pasivă II′, iar mandrinele 5 să prindă produsul tras şi să execute cursa activă II. În acest mod ciclul se repetă până se obține produsul tras finit.

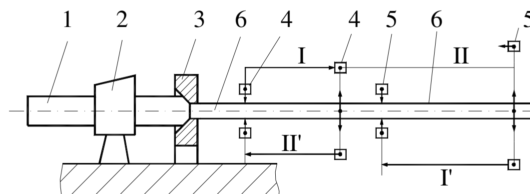


Fig. 5.83. Schema de principiu a unui banc de tragere acționat hidraulic : 1 – semifabricatul inițial; 2 – vasul de ungere; 3 – matrița; 4, 5 – mandrine acționate hidraulic; 6 – produsul tras.

Pe aceste bancuri de tragere se pot obține produse de lungime mare şi cu o înaltă productivitate (produsele pot ajunge până la lungimea de 50m).

Instalația de trefilare simplă este formată dintr-o celulă de trefilare a cărei schemă de principiu se prezintă în figura 5.84.

Semifabricatul 1, sub formă de colac, se desfăşoară de pe tamburul 2, trece prin vasul de ungere 3 şi filiera 4, fiind tras de tamburul de trefilare 5 pe care se înfăşoară produsul tras 6. Tamburul de trefilare este acționat de motorul electric 7, prin intermediul reductorului 8, cuplajului 9 şi angrenajului conic 10.

Viteza de trefilare pe instalațiile de trefilare simple este de 1...2m/s şi de regulă nu depăşeşte 5m/s. În funcție de calitatea şi secțiunea produsului tras, aceste instalații de trefilare se construiesc pentru a dezvolta forțe de tragere de 5...10 000 daN.

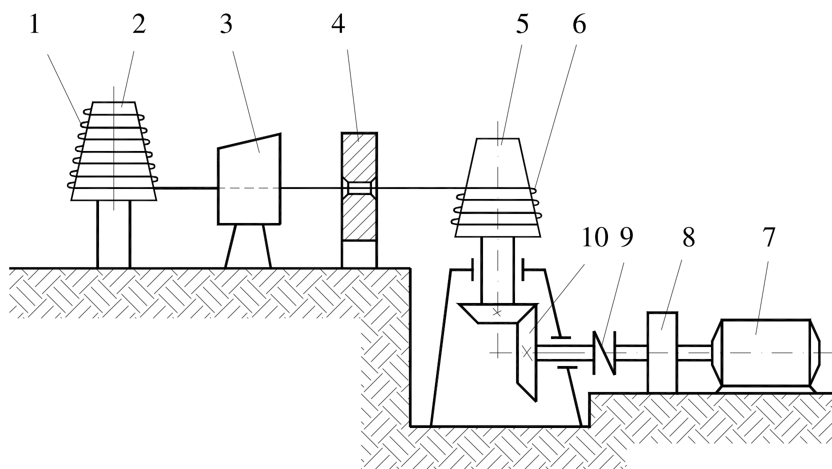


Fig. 5.84. Schema de principiu a unei instalații de trefilare simple:
1 – semifabricat; 2 – tambur; 3 – vas de ungere; 4 – filieră; 5 – tambur de trefilare; 6 – produsul tras; 7 – motor electric; 8 – reductor; 9 – cuplaj; 10 – angrenaj conic.

În cazul când gradul de deformare este mare şi sunt necesare mai multe trefilări succesive se foloseşte *o instalație de trefilare multiplă*, care se compune din mai multe celule de trefilare (până la 30), asemănătoare cu cea prezentată în figura 5.84. Celulele de trefilare pot fi aşezate pe orizontală (prezintă dezavantajul ocupării unui spațiu de lungime mare) sau pe verticală (are o construcție mai complicată). În funcție de modul cum se realizează procesul de trefilare se deosebesc următoarele tipuri constructive:

- funcționare cu acumulare şi fără alunecare;
- funcționare cu alunecare;
- funcționare cu contragere.

Viteza de trefilare în instalațiile de trefilare fără alunecare poate ajunge până la 20m/s, iar la celelalte este cu 5 ... 10% mai mică.

5.9.5. Produse obținute prin tragere – trefilare

Prin acest procedeu se prelucrează acele materiale care au un grad ridicat de deformare plastică la rece, acele materiale care au proprietatea de *ductilitate*. În general se prelucrează metalele neferoase şi aliajele lor, precum şi oțelurile cu

conținut scăzut de carbon (cele care au peste 0,25%C se supun mai întâi unui tratament termic de recoacere şi înmuiere în vederea creşterii proprietăților de plasticitate).

Câteva din produsele obținute prin tragere, cu cea mai largă aplicabilitate, se prezintă în figura 5.85, deosebindu-se:

- barele, de diferite secțiuni (fig. 5.85. a), trase dintr-un produs laminat la cald;
- profilele simple (fig. 5.85. b) şi profilele clasice (fig. 5.85. c);
- sârmele, cu diametrul de până la 5,0mm (când laminarea şi extrudarea nu sunt avantajoase), trefilate din semifabricate cu diametre cuprinse între 5 şi 16mm.
- țevile (fig. 5.85. e), cu diametre până la 400mm, trase din semifabricate tubulare;
- penele de antrenare (fig. 5.85. f);
- ghidajele de diferite forme şi secțiuni (fig. 5.85. g);
- arborii canelați de diferite secțiuni (fig. 5.85. h);
- corzile pentru diferite instrumente muzicale (fig. 5.85. i);
- suporții, spițele (fig. 5.85. j) de diferite forme şi lungimi;
- barele şi țevile calibrate la rece cu dimensiuni precise şi calitate foarte bună a suprafeței.

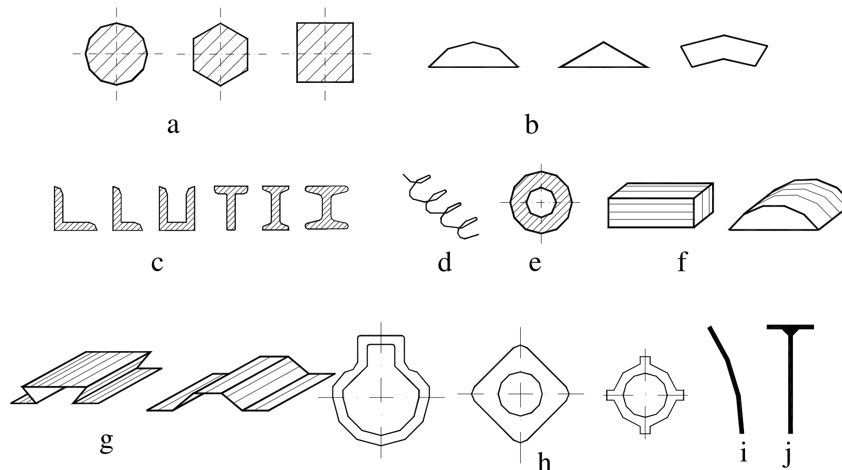


Fig. 5.85. Produse semnificative obținute prin tragere:
a – bare de diferite secțiuni; b – profile simple; c – profile; d – sârme; e - țevi; f – pene; g – ghidaje; h – arbori canelați; i – corzi pentru instrumente muzicale; j – spițe.

Produsele obținute prin tragere – trefilare prezintă o serie de avantaje față de celelalte similare obținute prin laminare sau extrudare, astfel:

- precizia dimensională este mai ridicată;

- calitatea suprafețelor este mai bună;
- productivitatea este mai ridicată şi necesită utilaje mai simple.

5.9.6. Tehnologia tragerii – trefilării

Pentru a obține un produs prin tragere – trefilare trebuie parcurse într-o succesiune logică următoarele etape distincte:

1. Alegerea semifabricatului inițial se face funcție de configurația geometrică şi dimensiunile de gabarit ale produsului tras;

2. Debitarea la dimensiuni se face ținând cont de legea volumului constant;

3. Tratamentul termic inițial – se aplică de regulă recoacerea de înmuiere, pentru creşterea proprietăților de plasticitate;

4. Controlul inițial – se face un control nedistructiv cu ultrasunete, radiații penetrante, lichide penetrante, pulberi magnetice sau emisie acustică, în scopul depistării eventualelor defecte interioare;

5. Stabilirea parametrilor regimului de încălzire (dacă tragerea – trefilarea se face la cald) se face în funcție de natura materialului şi volumul producției;

6. Alegerea utilajului de încălzire se face funcție de valorile parametrilor regimului de încălzire şi de volumul producției;

7. Pregătirea materialului în vederea tragerii – trefilării cuprinde operațiile de curățire, decapare şi tratare superficială. Curățirea presupune îndepărtarea stratului de oxizi (desțunderizarea) şi a celorlalte impurități de pe suprafața materialului. Desțunderizarea se efectuează cu ajutorul metodelor mecanice, chimice şi electrochimice, precum şi prin combinarea lor. Decaparea se efectuează în soluții de acid clorhidric sau sulfuric, soluții de baze sau chiar cu gaze. Imediat după decapare trebuie să se efectueze spălarea, deoarece întârzierile duc la uscarea soluției de decapare şi precipitarea sărurilor greu solubile. Spălarea se face mai întâi cu apă caldă şi apoi cu un jet de apă rece cu presiunea de $7{\cdot}10^5 N/m^2$. După spălare şi uscare se aplică stratul de menținere a unsorii, care trebuie să aibă o bună aderență pentru a reține lubrifiantul în timpul prelucrării şi pentru a preîntâmpina lipirea materialului de matriță sau filieră. Acest strat se formează prin operațiile de cuprare, fosfatare şi de tratare cu var şi, în plus, mai are şi rolul de a neutraliza eventualele urme de acizi rămase de la decapare;

8. Ascuțirea capului semifabricatului – pentru a permite intrarea în matriță sau filieră şi a fi prins de dispozitivul de tragere;

9. Stabilirea numărului de treceri se face în funcție de gradul de deformare ce trebuie realizat şi de natura materialului;

10. Alegerea utilajului pentru tragere – trefilarea se face în funcție de natura produsului tras, numărul de treceri şi volumul de producție;

11. Încălzirea propriu-zisă (dacă tragerea – trefilarea se face la cald) se face la temperatura de început de deformare;

12. Tragerea – trefilarea propriu-zisă;

13. Tratamentul termic intermediar se aplică după fiecare trecere sau după mai multe treceri, când se produce ecruisarea. Pentru oțelurile cu un conținut de C de 0,4...0,9% se aplică tratamentul termic numit *patentare*, ce face ca materialul ecruisat să capete o structură sorbitică cu mari avantaje privind deformarea plastică. De asemenea, produsul final are o rezistență la rupere superioară. Tratamentul constă în încălzirea deasupra punctului AC_3 (1 120...1 370K) şi răcirea în baie de plumb sau săruri topite la o temperatură de 720...820K timp de 10 secunde. În continuare urmează o răcire în apă la temperatura obişnuită.

Pentru oțelurile manganoase (cu 1%C şi 12%Mn) şi oțelurile inoxidabile (cu 0,1%C, 18%Cr şi 9%Ni), care se ecruisează foarte repede, se aplică tratamentul termic de călire (încălzire la 1 370 – 1 420K şi răcire în apă sau aer). Se mai poate aplica tratamentul termic de *îmbunătățire* la anumite oțeluri (pentru arcurile de mobilă);

14. Debitarea la dimensiuni se face la cererea beneficiarului;

15. Curățirea – îndepărtarea stratului de oxizi şi a impurităților;

16. Tratamentul termic final se face în funcție de destinația ulterioară a produsului tras. Se aplică: recoacerea de înmuiere - pentru sârmă moale, călirea pentru sârme cu proprietăți elastice sau tenace; îmbunătățirea pentru produse cu o structură stabilă şi acoperirile galvanice (zincarea, cositorirea, nichelarea etc.) - cu scopul de a proteja suprafața produselor trase de acțiunea agenților corozivi.

17. Îndreptarea, curățirea şi rectificarea se fac cu scopul de a îndepărta un eventual strat decarburat şi de a asigura acelaşi diametru pe întreaga lungime;

18. Controlul final şi sortarea;

19. Ambalarea şi trimiterea către beneficiar.

În funcție de tipul produsului tras şi natura materialului pot apare operații în plus sau pot dispare anumite operații. De exemplu, schema de principiu a fluxului tehnologic de obținere a unei bare sau țevi prin tragere se prezintă în figura 5.86.

5.9.7. Defectele produselor obținute prin tragere – trefilare

Principalele defecte care apar la produsele trase sau trefilate, în special în timpul procesului propriu – zis de tragere sau trefilare, sunt:

- *abaterile dimensionale,* care se datorează unei uzuri pronunțate a orificiului matriței sau filierei;

- *rizurile longitudinale,* care se datorează prezenței în zona de deformare a unor corpuri străine cu duritate mare (de exemplu granule de nisip antrenate de lubrifiant sau puncte reci de microsuduri);

- *fisurile*, dispuse de la suprafață spre interior şi se datorează deformării peste limita de ecruisare;

- *scobiturile*, care au forma unor dinți de fierăstrău şi se datorează densității mari provocate de ecruisare;

- *aşchiile,* care apar pe unele porțiuni ale produsului şi provin din defectele semifabricatului inițial de tipul stropilor reci, suflurilor, incluziunilor nemetalice sau arsurilor sudate superficial ;

- *petele de rugină,* se datorează stropirii produsului cu diferite soluții cu acțiune corozivă.

În cazul tragerii unor produse de tipul țevilor, mai pot apărea câteva defecte specifice, cum ar fi :

- *grosimea de perete neuniformă,* datorită reglării necorespunzătoare a dornului în zona de deformare ;

- *urmele inelare pe suprafața exterioară*, datorită vibrațiilor care apar în zona de deformare ca urmare a lipsei lubrifiantului pe țeavă sau profilului necorespunzător al orificiului matriței ;

- *ruperea capului țevii,* datorită unei reduceri prea mari, lipsei lubrifiantului sau vitezei de tragere prea mari.

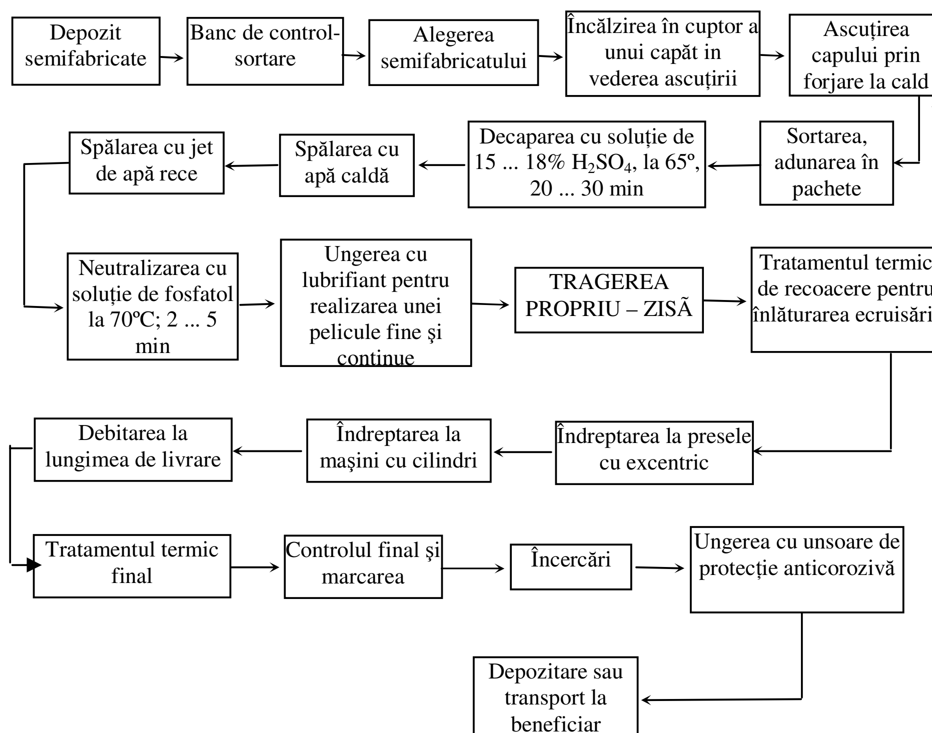


Fig. 5.86. Schema fluxului tehnologic de tragere a unei bare sau țevi.

Toate defectele enumerate mai sus se pot evita prin respectarea instrucţiunilor tehnologice şi prin reglarea corectă a sculelor de deformare.

5.9.8. Procedee speciale de tragere

Desigur că pe măsură ce apar noi materiale, cu proprietăţi cu totul deosebite, apar şi noi procedee de tragere sau trefilare care să permită obţinerea eficientă de produse trase sau terfilate cu viteze din ce în ce mai mari şi cu o calitate din ce în ce mai bună.

Cercetările întreprinse în ultimii ani în domeniul tragerii-trefilării sunt deosebit de intense şi cu drept scop îmbunătăţirea procesului tehnologic de tragere-trefilare prin : tragerea şi trefilarea unor produse din materiale cu plasticitate scăzută; obţinerea de produse trase cu configuraţie complexă care să nu mai necesite prelucrări ulterioare; reducerea forţelor necesare tregerii-trefilării şi creşterea calităţii produselor trase sau trefilate.

Rezultate deosebite au fost obţinute în cazul tragerii şi trefilării în câmp ultrasonic. În acest caz se foloseşte efectul de volum al undelor ultrasonore ce constă în reducerea substanţială a frecării de contact la interfaţa sculă de deformare materialul de tras. Eficienţa suprapunerii energiei ultrasonore peste energia de deformare depinde de modul de introducere al ultrasunetelor în focarul de deformare, deosebindu-se următoarele procedee: cu activarea ultrasonică a filierei sau matriţei; cu acţionarea ultrasonică a dopului sau a dornului (în cazul ţevilor), cu acţionarea ultrasonică a materialului sau combinat. De asemenea, în funcţie de natura materialului şi configuraţia produsului tras, pot fi folosite unde ultrasonore longitudinale, radiale, torsionale sau combinate.

Schema de pricipiu a unui sistem ultraacustic de tragere folosind unde longitudinale şi unde radiale se prezintă în figura 5.87.

Semifabricatul iniţial 1 este forţat să treacă prin scula de deformare 2 sub acţiunea dispozitivului de tragere 3. Scula de deformare 2 (poate fi matriţă - în cazul tragerii sau filieră – în cazul trefilării) este fixată în suportul port-sculă 4, dimensionat corespunzător propagării unor unde ultrasonore radiale. Acest suport mai face corp comun cu concentratorul de energie ultrasonoră 5, în care se excită unde ultrasonore longitudinale. Concentratorul de energie ultrasonoră se leagă de transductorul ultrasonor 6, prin intermediul flanşei nodale 7. Transductorul ultrasonor converteşte oscilaţiile electrice de înaltă frecvenţă ale generatorului 8 în oscilaţii mecanice cu frecvenţă ultrasonoră (ν <16 kHz).

Sistemul ultraacustic este în permanenţă răcit 9 şi izolat acustic 10. Cu ajutorul acestui sistem se obţine o reducere a forţei de tragere de 47%, o creştere a gradului de reducere de 15% şi o însemnată îmbunătăţire a calităţii suprafeţelor. De asemenea, se pot obţine produse trase din materiale cu deformabilitate scăzută (titan şi aliajele sale, niobiu şi aliajele sale, cupru-beriliu etc.).

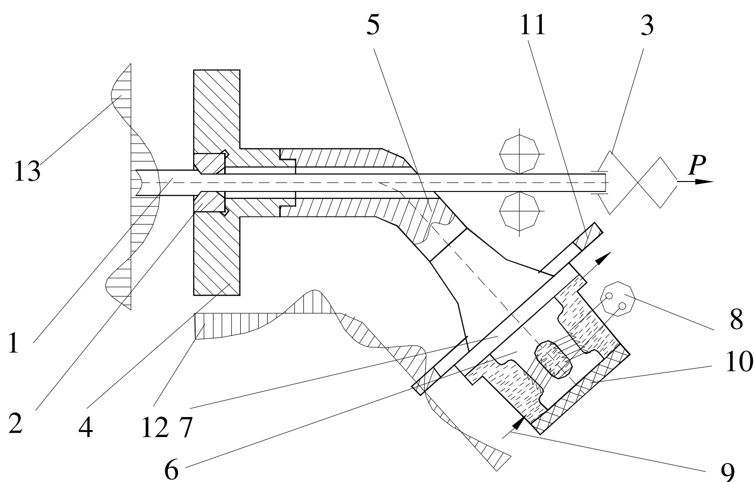


Fig. 5.87. Schema de principiu a unui sistem de tragere combinat în câmp ultrasonor : 1 – semifabricatul inițial; 2 – scula de deformare; 3 – dispozitivul de tragere; 4 – suportul port-sculă; 5 – concentratorul de energie ultrasonoră; 6 – transductorul ultrasonor; 7 – flanșa nodală; 8 – generatorul de oscilații electrice; 9 – sistemul de răcire; 10 – izolantul acustic; 11 – sistemul de fixare; 12 ;13 – diagrama de variație a amplitudinii vitezei particulei în cazul oscilațiilor longitudinale şi respectiv radiale.

5.10. FORJAREA

5.10.1. Definire

Forjarea este procedul de prelucrare prin deformare plastică ce constă în modificarea formei unui semifabricat prin crearea unei stări tensionale în volumul materialului, însoțită de curgerea lui pe diferite direcții sub acțiunea unor forțe de presare şi/sau lovire succesivă.

În funcție de modul cum are loc curgerea materialului sub acțiunea acestor forțe sunt definite două procedee:

- *forjarea liberă* (forjarea propriu-zisă), unde curgerea materialului este liberă;

- *forjarea în matriță* (matrițarea), unde curgerea materialului este direcționată de cavitățile unei scule numită matriță.

5.10.2. Materiale şi semifabricate destinate forjării

Pentru obținerea pieselor forjate liber se folosesc semifabricate confecționate din metale şi aliaje feroase şi neferoase. Prin materiale forjabile se

înțeleg toate metalele şi aliajele care pot fi deformate plastic prin forjare, în scopul obținerii unor piese sau semifabricate de configurații şi dimensiuni diferite. Caracteristicile funcționale şi tehnologice ale acestora sunt influențate în primul rând de compoziția lor chimică (de exemplu, la oțelurile carbon, elementul chimic de cea mai mare influență asupra fragilității este carbonul, iar la oțelurile aliate, cantitatea de elemente de aliere).

Cele mai folosite materiale în atelierele de forjare sunt oțelurile calmate (peste 80% din materialele care se forjează) cu un conținut de carbon de până la 1,4% (peste această limită oțelurile devin greu forjabile). Oțelurile aliate care conțin diferite elemente de aliere (Si, Mn, Cr, Ni, Mo, V, W, Co, B, Ti etc) au o forjabilitate diferită în funcție de constituenții structurali pe care îi formează elementele chimice aflate în compoziție.

Dintre metalele şi aliajele neferoase cele mai des folosite la obținerea pieselor prin forjare sunt: aluminiul şi aliajele acestuia cu Si, Cu, Zn, Mg, Mn etc.; cuprul şi aliajele acestuia cu Zn (alamele), cu Sn şi Al (bronzurile), aliajele de magneziu cu Mn, Al, Zn etc. şi altele.

Un rol deosebit de important la întocmirea procesului tehnologic de realizare a unei piese prin forjare îl are cunoaşterea exactă a proprietăților de plasticitate şi deformabilitate. Pentru aceasta se folosesc diferite metode de încercare, fiecare având avantajele şi dezavantajele ei. În cazul cel mai general, se utilizează metodele:

- *încercarea la tracțiune,* pe epruvete standardizate, încălzite la temperatura corespunzătoare. Se determină doi indici de bază ai plasticității: alungirea relativă şi gâtuirea (stricțiunea). Cu cât alungirea şi gâtuirea sunt mai mari, cu atât plasticitatea este mai ridicată şi invers;

- *încercarea la încovoiere prin şoc,* pe epruvete standardizate, încălzite la temperatura necesară. Plasticitatea se apreciază pe baza energiei cheltuite pentru ruperea epruvetei încălzite la temperatura de deformare;

- *încercarea la refulare,* pe epruvete cilindrice (fig.5.88) cu înălțimea h_0 = =1,5…2,5 d_1, încălzite până la temperatura corespunzătoare naturii materialului. Epruveta inițială 1 se supune operației de deformare prin lovire sau presare, în funcție de viteza de deformare ce trebuie realizată până capătă forma 2 (dimensiunile h_1 şi d_1). Deformarea se face prin refulare la grade de deformare diferite, astfel alese încât să se poată determina gradul de deformare la care, pe suprafața epruvetelor, apar primele crăpături. În acest caz plasticitatea materialului se determină prin gradul de deformare admisibil ε_a, care se calculează cu relația:

$$\varepsilon_a = \frac{h_1 - h_0}{h_0} \cdot 100 \quad [\%] \tag{5.155}$$

în care: h_0 este înălțimea inițială a epruvetei în mm; h_1 – înălțimea epruvetei după deformarea prin refulare până la apariția primei crăpături pe suprafață, în mm;

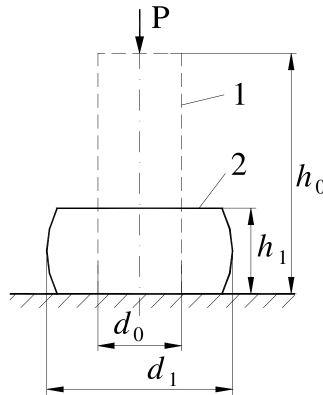


Fig. 5.88. Schema încercării la refulare:
1 – epruveta inițială; 2 – epruveta deformată prin refulare.

- *încercarea la torsiune,* pe epruvete standardizate, încălzite la temperatura corespunzătoare naturii materialului. Se determină numărul de rotații până la ruperea epruvetei ce constituie un indice de apreciere a deformabilității în cazul anumitor scheme de deformare;

- *încercarea la întindere prin forjare,* pe epruvete cilindrice sau prismatice cu lungimea de 3…5 ori mai mare ca diametrul sau grosimea secțiunii transversale, la temperatura corespunzătoare naturii materialului. Epruvetele se supun operației de întindere prin forjare până la distrugerea integrității materialului. Se determină gradul admisibil de deformare ε_a cu relația:

$$\varepsilon_a = \frac{h'_0 - h'_1}{h'_0} \cdot 100 \quad [\%] \;, \tag{5.156}$$

în care: h_0' şi h_1' reprezintă înălțimea inițială şi finală a epruvetei, în mm;

- *metoda laminării penei,* ce constă în laminarea unei bare de secțiune constantă între doi cilindri având calibrele executate după o rază variabilă. În urma laminării se obține un produs de forma unei pene, printr-o singură trecere obținându-se o gamă întreagă de grade de deformare. Zona unde apar primele crăpături pe bara laminată constituie locul unde s-a atins gradul admisibil de deformare plastică ε_a, ce se calculează cu relația:

$$\varepsilon_a = \frac{h''_0 - h''_1}{h''_0} \cdot 100 \quad [\%] \;, \tag{5.157}$$

în care: h_0' este înălțimea barei în secțiunea transversală înainte de laminare, în mm; h_1' înălțimea barei după laminare, în porțiunea unde materialul a început să

fisureze, în mm.

În funcţie de natura materialului, schema stării de tensiuni la deformare şi configuraţia geometrică a piesei forjate se pot aplica şi alte metode de determinare a plasticităţii.

Calitatea pieselor forjate depinde în primul rând de modul în care semifabricatele destinate forjării corespund din punctul de vedere al formei, compoziţiei chimice, structurii, stării suprafeţei, metodei de încălzire etc. Formele cele mai uzuale de semifabricate care pot fi destinate forjării sunt cele turnate în lingouri şi laminatele, astfel:

- pentru piesele de dimensiuni şi mase mari, chiar peste 300 t (arbori drepţi, arbori cotiţi, axe, discuri pentru turbine, rotoare pentru generatoare, cazane de înaltă presiune, prăjini de foraj etc.) se folosesc *lingourile* cu secţiune transversală rotundă, poligonală sau de forme speciale (alungite, tubulare, cu conicitate mare etc.);
- pentru piesele de dimensiuni şi mase medii (osii de vagoane, arbori cotiţi, cârlige de macara, axe cu came, biele, pârghii etc.) se folosesc *prelaminatele* (blumurile, bramele, ţaglele, platinele etc.);
- pentru piesele de dimensiuni şi mase mici (axe, arbori, furci, pârghii, biele, manivele, capace, flanşe, inele etc.) se folosesc diferite *profile laminate* (profile uşoare rotunde, pătrate, profile de formă specială, profile periodice etc.).

5.10.3. Forjarea liberă

Forjarea liberă este procedeul de prelucrare prin deformare plastică ce constă în modificarea formei unui semifabricat prin crearea unei stări tensionale în volumul materialului sub acţiunea unor forţe de lovire şi/sau presare, însoţită de curgerea plastică liberă a acestuia, după legea minimei rezistenţe.

Procedeul se aplică:

- în scopul îmbunătăţirii proprietăţilor mecanice ale metalelor şi aliajelor turnate;
- în scopul obţinerii din lingouri şi semifabricate a unor piese de dimensiuni şi configuraţii date.

Procedeele de forjare liberă sunt foarte variate dar ele nu reprezintă decât combinarea câtorva operaţii simple, numite *operaţii de bază la forjarea liberă.*

5.10.3.1. Operaţiile de bază la forjarea liberă

În funcţie de modul cum se creează starea tensională în volumul materialului şi de modul cum are loc curgerea plastică a acestuia se deosebesc următoarele operaţii:

• *Refularea* – operaţia de forjare liberă ce constă în mărirea secţiunii transversale a unui semifabricat iniţial prin micşorarea lungimii sau înălţimii

inițiale a acestuia (fig.5.89). Epruveta inițială 1, de dimensiuni h_0 şi d_0, este deformată cu scula 2 până devine de forma 3, de dimensiuni finale h_1 şi d_1. În funcție de scopul urmărit, în practică se întâlnesc următoarele variante de bază: *refularea plană* (fig.5.89. a); *refularea cu o proeminență* (fig. 5.89. b) şi *refularea cu două proeminențe* (fig.5.89. c).

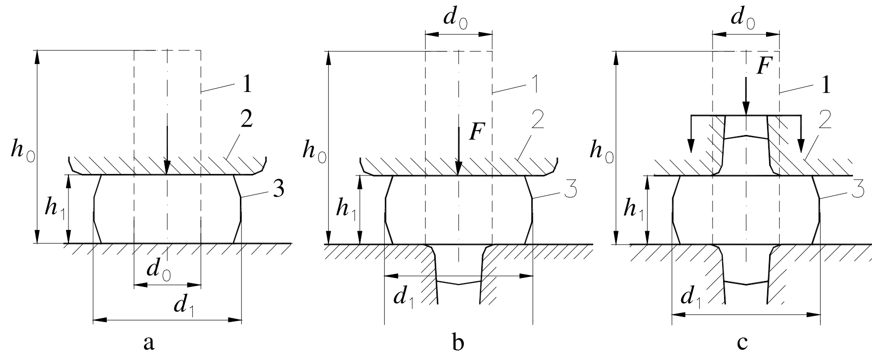


Fig. 5.89. Schema de principiu a refulării:
a – plană; b – cu o proeminență; c – cu două proeminențe; h_0; d_0 – dimensiunile epruvetelor inițiale; h_1, d_1 – dimensiunile epruvetei refulate; 1 – epruveta inițială; 2 – scula de deformare; 3 – epruveta refulată.

Operația de refulare se execută în următoarele cazuri:

- pentru obținerea pieselor forjate cu secțiunea transversală mare din semifabricate cu secțiunea transversală mică;
- pentru obținerea pieselor de genul flanşelor, cu unul sau cu două cepuri axiale;
- pentru obținerea pieselor de genul roților dințate, discurilor, capacelor etc.;
- ca operație prealabilă în vederea găuririi prin forjare.

Volumul de material supus deformării prin refulare poate să curgă plastic uniform în toată masa lui sau neuniform.

O problemă importantă ce trebuie rezolvată la refulare este determinarea forțelor de refulare şi a lucrului mecanic necesar refulării, deoarece în funcție de valorile acestuia se aleg utilajele de deformare şi sculele de deformare. Deoarece la refulare, secțiunea transversală a semifabricatului creşte şi raportul *d/h* creşte, o dată cu aceasta se măreşte şi presiunea de deformare (fig.5.90). Forța de deformare poate fi stabilită ținând cont de legea volumului constant:

$$S_0 \cdot h_0 = S_x \cdot h_x \,. \tag{5.158}$$

Considerând rezistența la deformare R_d, a materialului constantă pe tot parcursul deformării, forța necesară refulării F_x până la înălțimea h_x se determină

cu relația:

$$F_x = S_x \cdot R_d = S_0 \cdot \frac{h_0}{h_x} \cdot R_d\,. \tag{5.159}$$

Deoarece refularea se face de la înățimea h_0 la h, forța necesară refulării F devine:

$$F = S_0 \cdot \frac{h_0}{h_x} \cdot R_d\,. \tag{5.160}$$

Pentru un calcul mai exact al forței de refulare reale, trebuie luată în considerare influența vitezei de deformare asupra lui R_d și forțele de frecare F_f la interfața material – sculă de deformare.

Ținând cont de acestea se obține pentru forța reală necesară refulării F_r, expresia:

$$F_r = S_0 \cdot \frac{h_0}{h}\left(1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{d}{h}\right) Rd\,, \tag{5.161}$$

în care: μ este coeficientul de frecare.

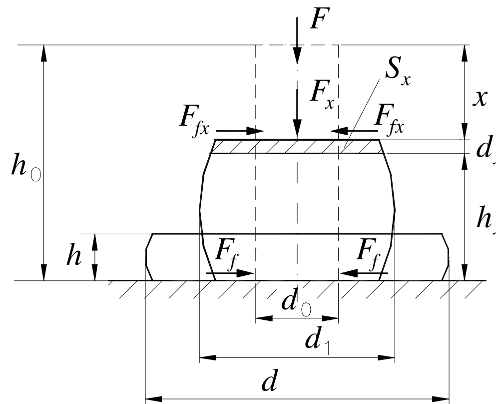


Fig. 5.3. Elementele necesare determinării forței de refulare F și a lucrului mecanic necesar refulării:
h_0; d_0 – dimensiunile inițiale; h_x – înălțimea epruvetei la distanța x; d; h – dimensiunile finale; S_x – secțiunea epruvetei la distanța x; F_{fx} – forța de frecare la interfața material - scule de deformare.

Pentru determinarea lucrului mecanic necesar la refulare se poate considera un lucru mecanic elementar dL, dat de relația:

$$\mathrm{d}L = F_x \cdot \mathrm{d}_x = p \cdot S_x \cdot D_x, \tag{5.162}$$

în care: p este presiunea de deformare.

Dar secțiunea S_x, la distanța x se poate determina din legea volumului constant:

$$S_x = \frac{V}{h_0 - x} \tag{5.163}$$

şi expresia (5.162) devine:

$$\mathrm{d}L = p \cdot V \cdot \frac{\mathrm{d}x}{h_0 - x}. \tag{5.164}$$

Ţinând cont că deformarea semifabricatului se produce de la înălțimea inițială h_0 la înălțimea finală h, se obține lucrul mecanic necesar refulării prin integrarea expresiei (5.164), deci:

$$L = \int_0^{h_0 - h} p \cdot V \cdot \frac{\mathrm{d}x}{h_0 - x} = p \cdot V \cdot \ln \cdot \frac{h_0}{h}. \tag{5.165}$$

Relația (5.165) permite determinarea masei părții căzătoare G, a ciocanelor pentru forjare, rezultând:

$$G = \frac{2g}{v^2 \cdot \eta} p \cdot V \cdot k \frac{h_0}{h}, \tag{5.166}$$

în care: η este randamentul ciocanului forjor (η = 0,75...0,95); v – viteza de cădere sau de impact, în m/s; g - accelerația gravitației (g = 9,81 m/s^2).

În scopul micşorării forței de deformare, precum şi al sudării defectelor de turnare, refularea trebuie executată la temperaturi cât mai ridicate, adică la temperatura de început de deformare. De asemenea, în scopul uşurării operației de refulare şi al micşorării neuniformității deformației, încălzirea trebuie să fie uniformă, iar suprafețele de la capete să fie plane şi perpendiculare față de axa longitudinală;

• *Întinderea* − operația de forjare liberă prin care se modifică substanțial lungimea unui semifabricat prin micşorarea secțiunii transversale. În funcție de configurația geometrică a semifabricatului şi a piesei şi de scopul urmărit se deosebesc mai multe variante:

- întinderea *simplă* (fig. 5.91) ce constă într-o succesiune de refulări parțiale, cu deosebirea că la refulare deformarea pe orizontală se produce liber în ambele direcții, iar la întindere, deformarea este frânată pe una din direcțiile orizontale, datorită prezenței capetelor exterioare (lățirea este mult îngreunată). Semifabricatul inițial 1, de dimensiuni l_o, b_o, h_o este deformat prin întindere cu nicovalele 2 şi 3, rezultând produsul 4, de dimensiuni finale l_1, b_1, h_1.

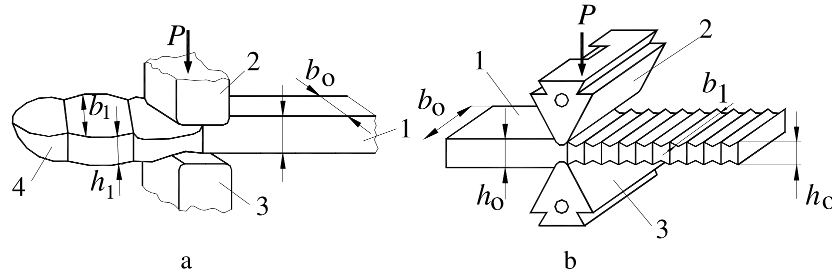


Fig. 5.91. Schema de principiu la operația de întindere prin forjare:
a – pe nicovale cu suprafețe plan-paralele; b – pe nicovale cu suprafețe rotunjite: 1 – semifabricatul inițial de dimensiuni h_o, l_o, b_o; 2; 3 – scule pentru deformare (nicovale); 4 – piesa obținută prin întindere de dimensiuni l_1, b_1, h_1.

În timpul procesului de întindere are loc :

- o întindere Δh a înălțimii semifabricatului:

$$\Delta h = h_o - h_1, \tag{5.167}$$

- o lățire Δb în direcția transversală:

$$\Delta b = b - b_o\ , \tag{5.168}$$

- o substanțială lungire Δl, a semifabricatului:

$$\Delta l = l - l_o. \tag{5.169}$$

Sculele principale cu ajutorul cărora se realizează întinderea prin forjare liberă se numesc *nicovale*, acestea putând fi: cu suprafețele plan-paralele (fig.5.91. a); cu suprafețele rotunjite (fig. 5.91. b); cu suprafețele combinate şi nicovale profilate cu unghiul cavității între 95° şi 135°.

Determinarea valorii forței de întindere P, a lucrului mecanic necesar întinderii L şi a masei părții căzătoare G se face în mod analog ca la refulare obținându-se expresiile:

$$P = p \cdot l_o \cdot b_o, \tag{5.170}$$

$$L = p \cdot V \cdot h \frac{l_1}{l_o}, \tag{5.171}$$

$$G = \frac{2 \cdot g \cdot L}{v^2 \cdot \eta}, \tag{5.172}$$

în care : p este presiunea medie de deformare; l_o – lungimea inițială a porțiunii din semifabricat prins între nicovale; l_1- lungimea după deformare; V – volumul de

material prins la o deformare între nicovale; g – accelerația gravitațională; v – viteza de cădere accelerată (v = 6...8m/s); η - randamentul utilajului (η = = 0,85...0,95);

- întinderea pe *dorn* (fig.5.92) ce constă în modificarea diametrului exterior şi a lungimii unui semifabricat tubular, sub acțiunea unor lovituri succesive.

Semifabricatul inițial 1, de dimensiune l_o, d_{eo} şi grosimea peretelui s_o se introduce pe dornul 2 şi se aşează împreună pe nicovala profilată 3. Cu nicovala 4, ce poate fi profilată, se aplică lovituri succesive cu forța P, până se obține produsul forjat de dimensiuni $l_1 > l_o$, $d_{e1} < d_{eo}$ şi $s_1 < s_o$.

Sunt şi situații în care, gaura inițial pătrunsă se astupă complet sau îşi micşorează numai diametrul la unul din capete (întinderea pe dorn cu ştrangulare). Se aplică pentru obținerea tuburilor lungi şi cu pereți subțiri. Se folosesc scule profilate, iar pentru o extragere uşoară a dornului, acesta se execută cu o conicitate de 1/100....1/150. De asemenea, se recomandă ca înainte de a fi introdus dornul pe tub, acesta să fie uns cu un lubrifiant rezistent la temperaturi ridicate;

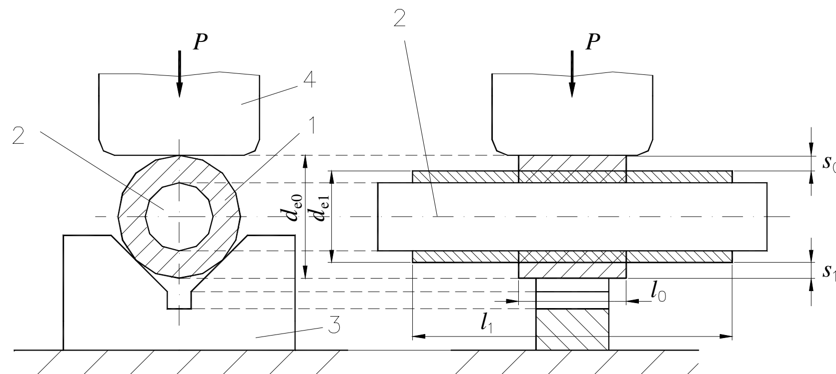


Fig. 5. 92. Schema de principiu la întinderea pe dorn:
1 – semifabricatul inițial de dimensiuni inițiale l_o, d_{eo}, şi s_o; 2 – dornul de întindere; 3; 4 – nicovale;
5 – produsul forjat de dimensiuni finale l_1, d_{e1}, şi s_1.

- lărgirea pe *dorn* (fig. 5.93) ce constă în modificarea diametrului interior şi exterior al unui semifabricat tubular pe seama micşorării grosimii peretelui. Semifabricatul tubular 1, de dimensiuni inițiale d_{io}, d_{eo}, b_o şi s_o, se aşează pe dornul 2, sprijinit la rândul său de nicovala profilată 3. Cu ajutorul nicovalei 4, i se aplică semifabricatului lovituri succesive cu forța P, rezultând în final produsul forjat de dimensiuni $d_{i1} > d_{io}$; $d_{e1} > d_{eo}$; $b_1 > b_o$ şi $s_1 < s_o$.

Alegerea dimensiunilor dornului se face prin calcule de rezistență sau folosind anumite nomograme ridicate experimental.

La proiectarea procesului tehnologic de realizare a unei piese prin întindere trebuie avute în vedere următoarele elemente importante: dimensiunile inițiale şi

finale; coeficientul de formă; domeniul deformărilor admisibile; numărul de treceri; numărul de lovituri şi neuniformitatea deformaţiei.

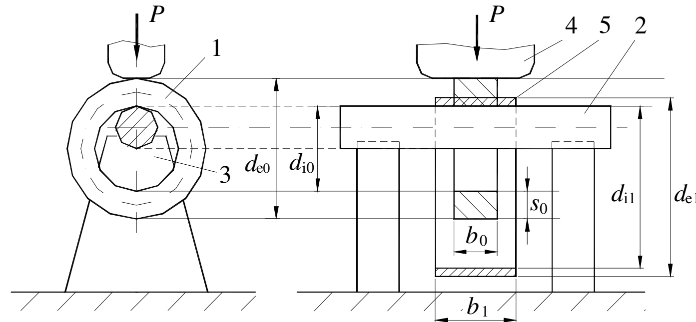


Fig. 5.93. Schema de principiu la operaţia de lărgire pe dorn:
1 – semifabricatul iniţial de dimensiuni d_{io}, d_{eo}, b_o şi s_o; 2 – dornul de lărgire; 3; 4 – nicovale; 5 – produsul forjat de dimensiuni finale d_{i1}, d_{e1}, b_1 şi s_1.

• *Găurirea* – operaţia de forjare liberă prin care se obţine o gaură pătrunsă sau nepătrunsă într-un semifabricat sau o piesă forjată. În funcţie de diametrul găurii necesar a fi realizată se întâlnesc două variante:

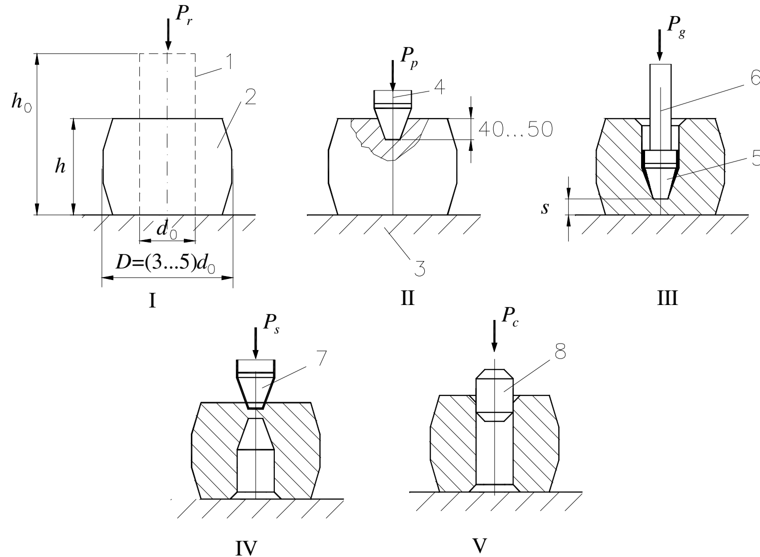


Fig. 5. 94. Schema de principiu la găurirea cu perforator plin:
1 – semifabricatul iniţial; 2- semifabricatul refulat; 3 – nicovala; 4 – dornul de pregăurire; 5 – dornul de găurire; 6 – prelungitorul; 7 – dornul de străpungere; 8 – dornul de calibrare; P_r; P_p; P_g; P_s; P_c – forţa necesară refulării, pregăurii, găuririi, străpungerii şi respectiv calibrării; I ....V – faze ale găuririi cu perforator plin.

- găurirea *cu perforatoare pline* (fig. 5.94) folosită pentru obținerea de găuri cu diametre mai mici de 400 mm;
- găurirea *cu perforatoare tubulare* (fig. 5.95) folosită pentru obținerea de găuri cu diametre mai mari de 400 mm.

La găurirea cu perforatoare pline semifabricatul inițial 1 de dimensiuni inițiale d_o și h_o este mai întâi supus operației de refulare, până se obține un semifabricat de diametru D = (3...5) d_o (I). Semifabricatul refulat se așează pe nicovala 3 și cu ajutorul dornului 4 se execută o mică gaură cu adâncimea de 40...50 mm (II). În gaura executată se introduce praf de cocs, de grafit sau altă substanță de ungere (cu scopul de a micșora frecarea în timpul găuririi și de a ușura scoaterea dornului) și apoi dornul de găurire 5, acționat de prelungitorul 6. Se găurește materialul până este respectată condiția s = (0,25...0,30) h (III). După ce dornul a pătruns până la înălțimea s, semifabricatul se întoarce cu 180°, se îndreaptă suprafața devenită convexă și cu dornul de străpungere 7 se execută gaura (IV). Pentru a înlătura conicitatea găurii și a corecta înclinarea axială se execută în final o operație de calibrare a găurii cu ajutorul dornului de calibrare 8 (V).

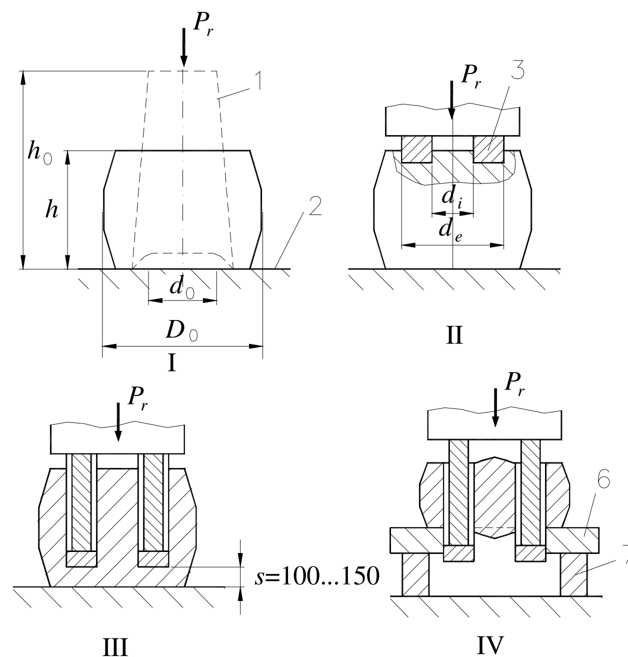


Fig. 5. 95. Schema de principiu la găurirea cu perforator tubular:
1 – semifabricatul inițial; 2 - masa presei; 3- perforatorul de pregăurire; 4 – perforatorul de găurire; 5 – prelungitorul; 6 - inel de perforare, 7- suport; I; II; III; IV – faze ale găuririi cu perforator tubular.

Găurirea cu perforator tubular se utilizează mai ales în cazul lingourilor şi pentru a înlătura o serie de defecte ale lor. În acest scop, lingoul 1 se aşează pe masa 2, a piesei, cu retasura în jos şi se supune operației de refulare (I). În partea superioară se găureşte pe o adâncime de 30...40 mm cu un perforator plin sau tubular 3 şi apoi se presară un strat de substanță de ungere în grosime de 2...3 mm (II). În continuare se execută găurirea propriu-zisă cu perforatorul tubular 4 acționat de prelungitorul 5, până când din înălțimea totală a piesei mai rămâne o grosime s = 100...150 mm nepătrunsă (III). Se face apoi străpungerea găurii folosind acelaşi perforator şi aşezând semifabricatul pe inelul de perforare 6 fixat pe suportul 7.

Această metodă prezintă dezavantajul unor pierderi mari de material în deşeuri.

• *Îndoirea* – operația de prelucrare prin forjare liberă prin care semifabricatul sau piesa forjată se curbează pe axa longitudinală după conturul şi direcția ce se cer în desenul piesei finite sau forjate (fig. 5.96).

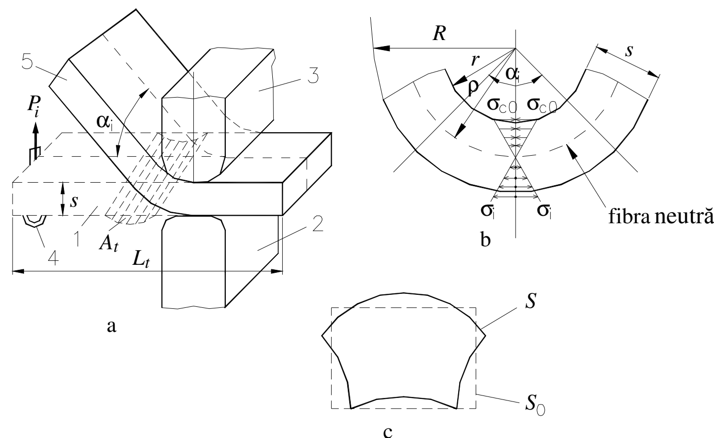


Fig. 5. 96. Schema de principiu la îndoire:
a – îndoirea propriu -zisă; b - starea de tensiuni; c – modificarea secțiunii:
1 – semifabricatul inițial; 2, 3- scule de deformare; 4 - dispozitiv de aplicare a forței de îndoire P_i;
5 - produsul îndoit; α_i – unghiul de îndoire; A_t – adaosul tehnologic; ρ - raza fibrei medii (neutre);
σ_i - tensiuni de întindere; σ_{co} – tensiuni de compresiune; S_o – secțiune inițială; S – secțiune finală.

Semifabricatul inițial 1 se prinde între sculele de deformare 2 şi 3 (calapoade, poansoane sau matrițe) şi cu ajutorul dispozitivului 4 se aplică forța de îndoire P_i rezultând produsul deformat 5 (fig. 5.96. a). Indiferent de modul în care se execută îndoirea, cu sau fără dispozitive ajutătoare, la presă sau la ciocan, în timpul îndoirii materialului se creează în zona de curbură (fig. 5.96. b) atât tensiuni de întindere σ_i (în partea exterioară), cât şi tensiuni de compresiune σ_{c0} (în partea interioară). Ca o consecință a tensiunilor ce se creează în zona de curbură,

secțiunea transversală inițială S_o a semifabricatului se subțiază la exterior şi se îngroaşă la interior devenind de forma S (fig. 5.96. c).

Aceste fenomene se petrec cu atât mai intens cu cât raportul dintre raza de curbură r şi diametrul d sau grosimea s a semifabricatului este mai mare. În cazul materialelor cu plasticitate redusă pot să apară crăpături în partea superioară. De aceea, pentru a evita modificarea secțiunii şi apariția crăpăturilor, semifabricatul trebuie pregătit tehnologic în vederea îndoirii.

Pregătirea tehnologică prealabilă constă în încălzirea corespunzătoare a materialului şi realizarea anticipată a unor surplusuri de material în zona care se îndoaie, numite *adaosuri tehnologice* A_t.

De importanță deosebită pentru procesul tehnologic de îndoire este alegerea semifabricatului inițial şi determinarea lungimii L_t, a acestuia. Determinarea lungimii semifabricatului inițial L_t se face cu relația:

$$L_t = l_c + l_d + l_a \,, \tag{5.73}$$

în care: l_c este lungimea porțiunii curbate şi se determină cu relația :

$$l_c = (r + 0{,}45 \cdot s)\frac{\pi \cdot \alpha_i}{180} \,, \tag{5.174}$$

l_a – lungimea adaosului tehnologic (l_a = 1,5...3,0 s), iar l_d este lungimea porțiunilor drepte; α_i – unghiul la centru al sectorului de cerc, care încadrează raza de curbură (fig. 5.96. b).

Pentru calculul forței de îndoire trebuie luat în considerare momentul de îndoire necesar învingerii tensiunilor care apar în secțiunea semifabricatului. Dacă se ține seama şi de frecarea ce apare între semifabricat şi sculele de deformare rezultă pentru forța de îndoire P_i, expresia:

$$P_i = c \cdot \frac{4 \cdot R_d \cdot I}{(r + s)\sin\frac{\alpha_i}{2}} \,, \tag{5.175}$$

în care: R_d este rezistența medie la deformare; c – coeficient de corecție ce ține seama de frecare (c = 1,3...1,5); I – momentul static al jumătății de suprafață față de axă şi are diferite valori, în funcție de forma secțiunii transversale a semifabricatului, astfel:

$$I = \frac{a^3}{8}, \text{ pentru o secțiune pătrată de latură } a; \tag{5.176}$$

$$I = \frac{\pi \cdot d^3}{12}, \text{ pentru o secțiune circulară cu diametrul } d; \tag{5. 177}$$

$$I = \frac{b \cdot h^2}{8}$$, pentru o secţiune dreptunghiulară de dimensiuni $b \times h$. (5.178)

• *Răsucirea* – operaţia de prelucrare prin forjare liberă ce constă în rotirea unor părţi ale semifabricatului în jurul axei longitudinale cu un unghi a cărui mărime este determinată de forma şi configuraţia piesei (fig. 5.97). Operaţia de răsucire poate fi executată simultan pe întreaga porţiune de răsucire a piesei (cazul burghielor elicoidale) sau în trepte (cazul arborilor cotiţi).

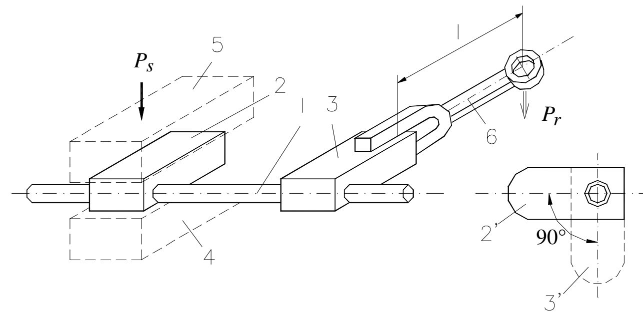


Fig. 5. 97. Schema de principiu la răsucire:
1 – semifabricatul iniţial; 2; 3 – coturi ; 4 – nicovala inferioară; 5 –nicovala superioară; 6 – furcă;
2′; 3′ – noile poziţii ale coturilor 2 şi 3.

În timpul răsucirii semifabricatului iau naştere tensiuni de întindere σ_i, care favorizează apariţia fisurilor şi crăpăturilor în direcţia longitudinală, şi tensiuni de comprimare σ_{co} (fig. 5. 98). Pentru a evita fenomenul de crăpare în direcţie longitudinală este necesar ca semifabricatul să fie răsucit, atunci când plasticitatea lui este maximă (se execută la temperatura de început de deformare). De asemenea, este necesar ca semifabricatul să nu aibă defecte de suprafaţă sau de material în porţiunile de răsucire, deoarece acestea pot constitui amorse de distrugere a integrităţii materialului.

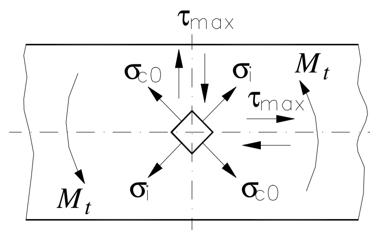


Fig. 5. 98. Starea de tensiuni la suprafaţa unui semifabricat răsucit:
σ_{co} – tensiuni de compresiune; σ_i – tensiuni de întindere; τ_{max} – tensiunea de forfecare maximă;
M_t – momentul de torsiune.

Parametrii tehnologici importanți la operația de răsucire sunt: temperatura de încălzire a semifabricatului în vederea deformării; unghiul de răsucire; starea suprafeței materialului în zona de răsucire; forța necesară răsucirii şi forma secțiunii semifabricatului.

Forța necesară răsucirii se determină scriind momentul de răsucire M_t în două moduri:

$$M_t = \delta \cdot W = F_r \cdot l\,, \qquad (5.179)$$

în care δ este tensiunea tangențială maximă F_r – forța necesară răsucirii; l – lungimea brațului furcii (vezi fig. 5.10); W – modulul de rezistență ce are valorile:

$$W = \frac{\pi d^3}{12} \text{ pentru secțiuni circulare,} \qquad (5.180)$$

$$W = \frac{a^3}{3} \text{ pentru secțiuni pătrate.} \qquad (5.181)$$

Din relația (5.179) rezultă forța necesară răsucirii F_r, de forma:

$$F_r = \frac{R_d \cdot W}{l\sqrt{3}}\,, \qquad (5.182)$$

în care: R_d este rezistența la deformare a materialului;

• *Tăierea prin forjare* − operația de prelucrare prin forjare liberă ce constă în separarea totală sau parțială a unor bucăți din semifabricat în piese sau în semifabricate pentru alte procedee de prelucrare (fig. 5.99). Ca principale operații de tăiere sunt: *crestarea* (fig. 5. 99. a) prin care se realizează pregătirea semifabricatelor în vederea schimbării de secțiune; *despicarea* (*fig*. 5. 99. b), când semifabricatul se taie doar pe o anumită lungime cu o sculă aferentă, şi *debitarea* (fig. 5. 99. c), când se îndepărtează bucăți de material din semifabricat.

Crestarea se utilizează în general la forjarea prin întindere a axelor în trepte şi la dezaxarea manetoanelor arborilor cotiți; despicarea se practică în general la piese de tipul furcilor, fuzetelor sau pârghiilor, iar debitarea se utilizează pentru detaşarea unor capete de material din semifabricate sau piese forjate sau pentru fragmentarea unor bare de lungime mare ;

• *Sudarea prin forjare* − operația de forjare liberă ce constă în realizarea unei îmbinări nedemontabile între două sau mai multe bucăți de material ce vor forma piesa, sub acțiunea unor forțe de lovire succesive. Sudarea prin forjare are mai mult importanță istorică, deoarece este primul procedeu de îmbinare nedemontabilă cunoscut de om, dar acum se foloseşte foarte puțin. Se aplică doar oțelurilor nealiate şi cu conținut scăzut de carbon (< 0,25% C). În vederea sudării prin forjare, capetele ce urmează a fi îmbinate între ele se pregătesc corespunzător:

se îngroaşă prin refulare, la *sudarea prin suprapune*re (fig. 5.100. a), sau se îngroaşă prin refulare şi despicare, la *sudarea prin împletire* (fig. 5.100. b).

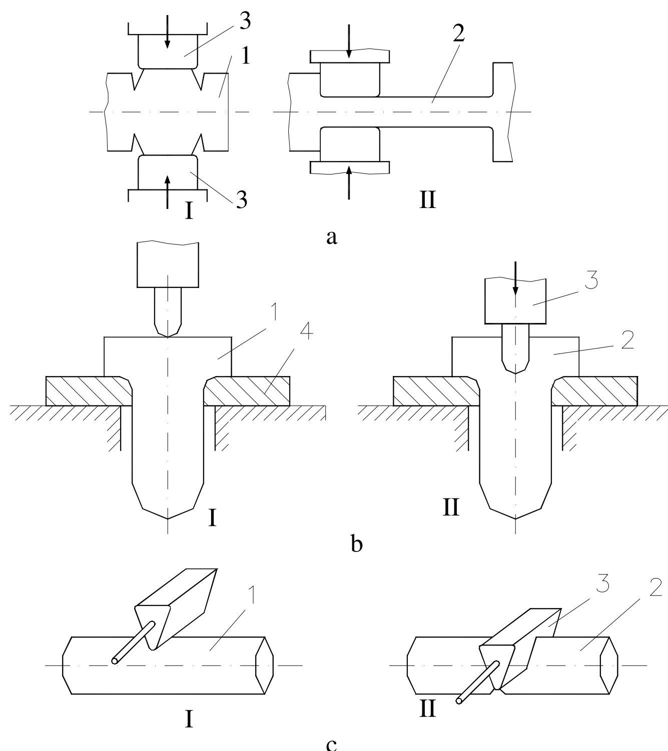


Fig. 5. 99. Schema de principiu la tăierea prin forjare:
a – crestarea; b – despicarea; c – debitarea; I – faza iniţială; II – după crestare, despicare sau debitare: 1- semifabricat iniţial; 2 - produsul obţinut; 3 - scule folosite; 4 – suport.

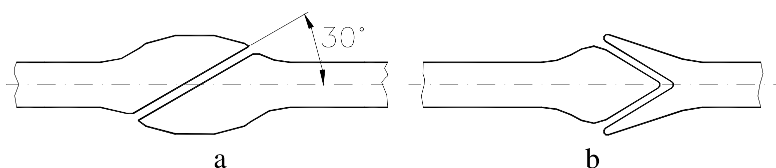


Fig. 5. 100. Variante de sudare prin forjare:
a – sudarea prin suprapunere; b – sudarea prin împletire.

După ce au fost pregătite corespunzător, capetele semifabricatelor pentru sudare se încălzesc împreună până la temperatura de 1 350°-1 380°C (în funcţie de conţinutul de carbon) şi apoi se începe sudarea cu lovituri uşoare şi rare, iar după

ce piesele s-au prins se intensifică numărul de lovituri şi puterea de lovire până se realizează îmbinarea corespunzătoare.

5.10.3.2. Tehnologia forjării libere

În vederea realizării unei piese prin forjare liberă trebuie parcurse, într-o succesiune logică, următoarele etape distincte:

1 - Stabilirea rolului funcțional al piesei –pornind de la desenul piesei finite folosind metoda de analiză morfofuncțională a suprafețelor;

2 - Alegerea materialului optim pentru confecționarea piesei – folosind metoda de analiză a valorilor optime. Se pune un mare accent pe proprietățile de plasticitate ale materialului, efectuându-se cel puțin încercările prevăzute în paragraful 5.10.2.;

3 – Întocmirea desenului piesei brut forjate – plecând de la desenul piesei finite (fig. 5.101) pe care se adaugă următoarele categorii de adaosuri:

- *adaosurile de prelucrare* A_p, pe toate suprafețele a căror rugozitate şi precizie dimensională nu pot rezulta prin forjare liberă. De asemenea, adaosurile de prelucrare trebuie să asigure şi eliminarea straturilor decarburate şi oxidate de la suprafața pieselor. Mărimea adaosurilor de prelucrare este în funcție de mărimea şi configurația piesei şi se aleg conform STAS – 2171-71. Se recomandă ca atunci când se lucrează cu material decojit sau când se lucrează piese de serie, valorile adaosurilor de prelucrare să se micşoreze;

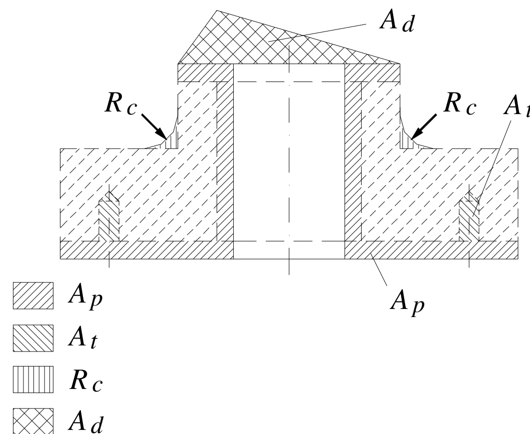


Fig. 5.101. Exemplu de întocmire a desenului piesei brut forjate:
A_p - adaosul de prelucrare; A_t – adaosul tehnologic; A_d – adaosul de debitare; R_c – raze de racordare constructive.

- *adaosurile tehnologice* A_t, pe toate suprafețele care nu pot rezulta prin forjare liberă (găuri de dimensiuni mici; suprafețe conice, zona de trecere dintre

tronsoane învecinate sub diferite unghiuri etc.). Adaosurile tehnologice au şi rolul de a simplifica conturul piesei finite în aşa fel încât să fie posibilă obţinerea ei mai economică prin forjare liberă;

- *razele de racordare constructive* R_c, la toate intersecţiile de tronsoane înclinate. Prin forjare liberă, datorită construcţiei sculelor, nu pot fi obţinute unghiuri drepte sau ascuţite, de aceea se prevăd aceste raze de racordare. Ele mai au şi rolul de a evita apariţia defectelor de tipul fisurilor sau crăpăturilor la intersecţia de tronsoane;

- *adaosurile de debitare* A_d, pe toate suprafeţele capetelor de prindere şi manevrare cu ajutorul sculelor de forjare pe utilajul de forjare. Mărimea acestor adaosuri este în funcţie de dimensiunile transversale ale tronsonului din care se execută debitarea capetelor (lungimea acestor capete de prindere este l = 0,5...0,8 d sau l = 0,5…0,8 b, în care d este diametrul semifabricatului iniţial sau b este lăţimea semifabricatului iniţial);

4 - Stabilirea masei piesei forjate – pornind de la desenul piesei finite care se descompune în corpuri geometrice cât mai simple, cărora li se poate determina uşor volumul şi respectiv masa. La masa piesei finite se adaugă apoi o serie de mase corespunzătoare diferitelor pierderi din timpul procesului tehnologic. Astfel, se poate determina masa semifabricatului iniţial m_{sf} folosind relaţia:

$$m_{sf} = m_{pf} + m_a + m_{ap} + m_{at} + m_{ad} + m_{rc} + m_e + m_{cp}, \qquad (5.183)$$

în care : m_{pf} este masa piesei finite; m_a - masa pierderilor prin ardere, care se alege în funcţie de instalaţia utilizată la încălzire (m_a = 1,0 ….1,5 % m_{pf} , valori minime pentru instalaţiile electrice de încălzire, valori maxime pentru instalaţiile de încălzire cu flacără); m_{ap} – masa pierderilor cu adaosurile de prelucrare, m_{at} – masa pierderilor cu adaosurile tehnologice; m_{ad} – masa pierderilor cu adaosurile de debitare; m_{rc} – masa pierderilor cu racordările constructive; m_{cp} – masa pierderilor cu capetele de manipulare; m_e – masa pierderilor cu epruvetele de încercare (dacă este cazul).

5 – Alegerea semifabricatului iniţial – în funcţie de configuraţia geometrică şi dimensiunile de gabarit ale piesei forjate, astfel:

- lingouri, pentru piesele cu mase şi dimensiuni mari;
- prelaminatele, pentru piesele de dimensiuni şi mase mijlocii;
- barele şi profilele simple sau de formă specială, pentru piesele de dimensiuni şi mase mici;

6 - Debitarea semifabricatului iniţial la dimensiunile necesare –ţinând cont de legea volumului constant. Operaţia se execută prin forfecare la 20° C, 100° C (până la ∅210 mm); cu flacără oxiacetilenică (până la ∅ 800 mm) şi prin rupere (până la ∅230 mm);

7 – Controlul iniţial – un control nedistructiv pentru a depista eventualele defecte interioare (fisuri, crăpături, incluziuni nemetalice periculoase etc.). Se

folosesc pentru control diferite metode alese în funcție de dimensiunile de gabarit, starea suprafeței şi posibilele defecte ce se vor a fi detectate. Se utilizează metodele de control: cu radiații penetrante; cu ultrasunete; cu lichide penetrante; cu pulberi magnetice; cu curenți turbionari; prin emisie acustică; prin termografiere în infraroşu etc.;

8 – Tratamentul termic inițial – în scopul creşterii proprietăților de plasticitate ale materialului de forjat. Se alege de regulă recoacerea de înmuiere sau normalizarea în funcție de natura materialului de forjat;

9 – Pregătirea semifabricatului în vederea forjării – în funcție de natura materialului de forjat şi starea suprafeței semifabricatului inițial. Această pregătire constă în curățirea, decaparea şi degresarea suprafeței semifabricatului inițial;

10 – Stabilirea parametrilor regimului de încălzire – în funcție de natura materialului de forjat, configurația geometrică şi dimensiunile de gabarit ale semifabricatului inițial şi programa de producție. Se stabilesc următorii parametrii: temperatura de început de deformare; temperatura de sfârşit de deformare; viteza de încălzire; durata încălzirii şi mediul de încălzire. În general procesul de încălzire trebuie să asigure obținerea temperaturii de început de deformare, uniform răspândite pe întreaga secțiune a semifabricatului, în minimum de timp şi fără să provoace fisuri sau crăpături în material;

11 – Alegerea utilajului de încălzire – în funcție de natura materialului de forjat, mărimea valorilor parametrilor regimului de încălzire, productivitatea ce se vrea realizată. În țara noastră se folosesc cel mai mult instalațiile de încălzire cu curenți de inducție şi cuptoarele de încălzire cu combustibili lichizi şi gazoşi;

12 – Stabilirea succesiunii logice a operațiilor de bază la forjare – în funcție de configurația geometrică a piesei forjate şi de programa de producție. În cazul unei producții de serie mică sau de unicate se execută succesiv fiecare operație pe acelaşi utilaj, iar în cazul unei producții de serie mijlocie sau mare se execută fiecare operație pe utilaje separate, amplasate într-o succesiune logică a fluxului tehnologic.

13 – Alegerea utilajului de forjare – în funcție de tipul operației ce trebuie executată, configurația geometrică şi dimensiunile de gabarit ale semifabricatului inițial şi programa de producție. Utilajele folosite frecvent la forjare sunt: *ciocanele mecanice; presele şi maşinile speciale*. Ciocanele mecanice se aleg atunci când presiunea de deformare nu trebuie să se transmită în toată masa semifabricatului, când precizia de prelucrare este mai mică şi materialul de forjat permite o acțiune bruscă prin lovire, fără posibilitatea apariției de fisuri sau crăpături. Presele se aleg atunci când semifabricatele sunt de dimensiuni mici şi medii, când presiunea de deformare trebuie să se transmită în toată masa materialului şi precizia de prelucrare este mai bună. Maşinile speciale sunt destinate unei game reduse de piese, cu o anumită configurație şi de o anumită mărime, ele putând lucra fie prin lovire, fie prin presare;

14 - Alegerea sculelor necesare forjării – în funcție de tipul operației de

forjare, forma geometrică şi dimensiunile de gabarit ale piesei forjate şi programa de producţie. Din categoria sculelor pentru forjare liberă manuală fac parte: ciocanele, nicovalele, cleştii de manipulare, crestătoarele, netezitoarele, întinzătoarele, dălţile şi dornurile. Printre sculele principale utilizate la forjarea liberă mecanică se enumeră: nicovalele, ciocanele, cleştii de manipulare, crestătoarele, dălţile de debitare, planatoarele, împingătoarele, manşoanele, răsturnătoarele, manipulatoarele autopropulsate, plăcile de refulare, topoarele de debitare şi altele;

15 – Încălzirea semifabricatului în vederea forjării libere – în utilajul ales până ce s-a atins temperatura de început de deformare în toată masa materialului ce urmează a fi forjat liber;

16 – Forjarea propriu-zisă – respectând succesiunea logică a operaţiilor de bază stabilite anterior;

17 – Tratamentul termic intermediar (dacă este cazul) – în vederea recăpătării proprietăţilor de plasticitate şi pentru a putea fi deformat în operaţia următoare de forjare;

18 – Curăţirea –în vederea îndepărtării straturilor arse de material, straturilor decarburate şi a celorlalte impurităţi. În general se face o curăţire mecanică cu perii de sârmă, prin sablare cu jet de nisip sau de alice sau în tobe rotitoare – în funcţie de configuraţia geometrică a piesei forjate, dimensiunile de gabarit şi programa de producţie;

19 – Tratamentul termic final – în funcţie de destinaţia ulterioară a piesei forjate şi de comportarea în exploatare;

20 – Controlul final – un control nedistructiv pentru a depista eventualele defecte interioare şi un control dimensional;

21 – Ambalarea şi trimiterea către beneficiar – în funcţie de destinaţia ulterioară a piesei forjate (de regulă piesele forjate sunt duse în atelierele de prelucrare prin aşchiere).

5.10.4. Forjarea în matriţă

5.10.4.1. Definire. Scheme de principiu

Matriţarea este procedeul de prelucrare prin deformare plastică a unui material ce constă în crearea unor stări tensionale în tot volumul materialului, sub acţiunea unor forţe de lovire şi/sau presare şi curgerea condiţionată a materialului în cavitatea unei scule numită matriţă.

Deformarea plastică a materialului are loc în cavitatea matriţei formată, în majoritatea cazurilor, din două părţi distincte numite semimatriţe. Schema de principiu a procedeului de matriţare se prezintă în figura 5.102. Semifabricatul 1, debitat la dimensiunile şi forma corespunzătoare, este încălzit la temperatura de început de deformare (în cazul matriţării la cald), este aşezat în locaşul inferior de

deformare 2, al semimatriței inferioare 3. Semimatrița inferioară este fixată de şabota sau nicovala 4, a presei matrițoare sau respectiv a ciocanului matrițor, prin intermediul ghidajului coadă de rândunică 5, şi a penei plan-paralele 6. Semifabricatul inițial este deformat cu ajutorul semimatriței superioare 7, care

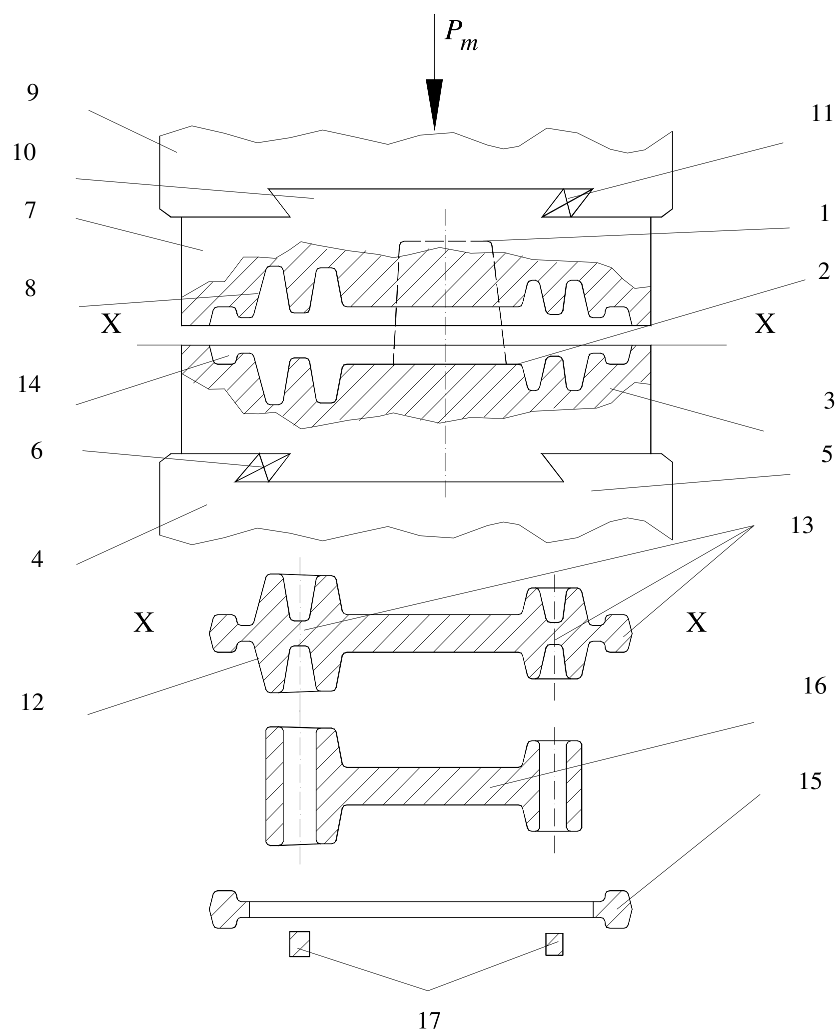


Fig. 5.101. Schema de principiu a matrițării:
1 – semifabricat inițial ; 2- locaşul inferior de matrițare ; 3 – semimatrița inferioară ; 4 – şabotă sau nicovală ; 5 ;10 – ghidaje coadă de rândunică ; 6 ;11 – pene de reglare ; 7 – semimatrița superioara; 8 – locaşul superior de matrițare ; 9 – berbecul ciocanului sau culisoul presei ; 12 – piesa brut; matrițată ; 13 – plus de material ; 14- canal bavură ; 15 – bavură ; 16 – piesa matrițată; 17 – puntițele găurilor.

introduce forța de deformare necesară P_m. În semimatrița superioară este prelucrat locaşul superior de deformare 8, care prin închidere cu locaşul inferior de deformare de-a lungul planului de separație X-X formează locaşul de deformare, a cărui configurație este aproximativ identică cu cea a piesei ce se doreşte a fi realizată.

În timpul deplasării semimatriței superioare către semimatrița inferioară, materialul este deformat şi obligat să ia forma locaşului de deformare. După deformare şi deschiderea celor două semimatrițe rezultă piesa brut matrițată 12, prevăzută cu un plus de material 13, colectat în canalul de bavură 14, prelucrat în cele două semimatrițe. După îndepărtarea acestui plus de material sub forma bavurii 15 şi a altor adaosuri de material, în urma unor operații ulterioare matrițării, rezultă piesa matrițată 16.

Deoarece deformarea plastică a materialului se face prin curgerea condiționată a acestuia de pereții semimatrițelor, procedeul prezintă, în comparație cu forjarea liberă, următoarele avantaje:

- permite obținerea unor piese de configurație complexă;
- consum redus de material şi manoperă, deoarece pierderile prin deşeuri sunt mult mai mici;
- precizia dimensională, de formă şi de poziție mult mai bună ;
- calitatea suprafețelor matrițate este mult superioară ;
- productivitatea ridicată;

Procedeul prezintă şi unele dezavantaje care decurg în general din costul ridicat al matrițelor şi al utilajelor necesare menționându-se:

- greutatea limitată a pieselor matrițate (0,01…1 000 kg);
- dimensiunile de gabarit limitate (dimensiunea maximă mai mică de 1 000 mm);
- necesită realizarea unui număr mare de produse de acelaş fel.

Alegerea procedeului de obținere a unei piese prin forjare liberă sau prin forjare în matriță se face luând în considerare, în primul rând, următoarele: numărul de piese identice necesare a fi realizate; precizia dimensională, de formă şi de poziție cerută; calitatea suprafețelor; configurația geometrică şi dimensiunile de gabarit. De aceea, trebuie ținut cont şi de următoarele recomandări:

- piesele de greutăți şi de dimensiuni foarte mari se pot obține numai prin forjare liberă;
- în productia de unicate sau de serie mică se foloseşte doar forjarea liberă ca fiind cea mai economică;
- în producția de serie mare sau de masă este rentabilă doar matrițarea;
- piesele de dimensiuni medii şi mici se pot obține fie prin forjare liberă, fie prin matrițare, de aceea alegerea procedeului tehnologic optim se face prin analiza comparativă a prețurilor de cost date de expresiile:

$$C_{lf} = F_f + n \cdot V_f \quad \text{[lei/lot]} \tag{5.184}$$

pentru forjarea liberă, şi

$$C_{lm} = F_m + n \cdot V_m \quad \text{[lei/lot]} \tag{5.185}$$

pentru matrițare, în care: F_f; F_m reprezintă cheltuielile fixe făcute la forjarea liberă şirespectiv la matrițare; V_f; V_m - cheltuielile variabile făcute la forjarea liberă şi respectiv la matrițare; n – numărul de piese identice ; C_{lf}; C_{lm} – costul unui lot de piese identice obținute prin forjare liberă şi respectiv prin matrițare. Rezultând din grafic relațiile (5.184) şi (5.185) se obține diagrama din figura 5.103 şi numărul critic de bucăți n_{cr}, ce permite alegerea procedeului optim din punct de vedere al prețului de cost :

$$n_{cr} = \frac{F_f - F_m}{V_m - V_f}. \tag{5.186}$$

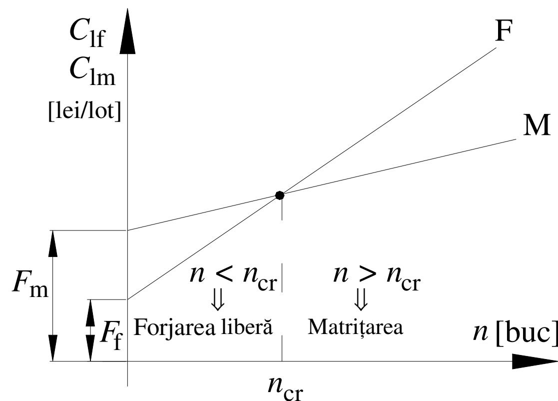


Fig. 5.103. Alegerea procedeului tehnologic optim de forjare folosind analiza comparativă dintre forjarea liberă (F) şi forjarea în matriță (M).

Din punct de vedre tehnologic se remarcă tendința de creştere a producției de piese matrițate cu consum redus de material şi manoperă şi cu caracteristici funcționale şi tehnologice superioare. În țările dezvoltate industrial producția de piese forjate obținute prin matrițare reprezintă peste 75%, restul fiind obținute prin forjare liberă.

5.10.4.2. Clasificarea procedelor de matrițare

Există mai multe criterii de clasificare, cele mai importante fiind următoarele:

- după temperatura la care se desfăşoară deformarea plastică:
  - matrițarea la rece, când este însoțită de fenomenul de ecruisare;

- matrițarea la cald, când este însoțită de fenomenul de recristalizare;
- după modul de deformare a materialului în matriță:
  - matrițarea cu bavură sau matrițarea deschisă;
  - matrițarea fără bavură sau matrițarea inchisă;
  - matrițarea prin extrudare;
- după echipamentul tehnologic folosit:
  - matrițarea pe ciocane;
  - matrițarea pe prese ;
  - matrițarea pe maşina de forjat orizontală;
  - matrițarea pe maşini specializate şi speciale.
- după viteza de deformare a materialului;
  - matrițarea cu viteze mici de deformare, când viteza de deformare v_d <10m/s ;
  - matrițarea cu viteze mari de deformare când viteza de deformare $v_d \geq$ 10m/s ;

5.10.4.3. Scule folosite la matrițare

Sculele folosite în orice etapă a procesului de deformare prin matrițare se numesc *matrițe.*

Pentru realizarea întregului proces tehnologic de matrițare a unei piese sunt necesare următoarele tipuri de scule :

- *scule pentru preforjarea în matriță*, cu locaşuri de deformare apropiate ca formă de cele ale pieselor matrițate. În aceste locaşuri de deformare se realizează operații de deformare care aduc semifabricatul inițial la o formă cât mai apropiată de forma finită a piesei brut matrițate (locaşurile de întindere, de îndoire, de formare, de lățire, de gâtuire, de turtire, de refulare, de fasonare etc.) ;
- *scule pentru matrițarea propriu-zisă,* cu locaşuri de deformare ce realizează forma finală a piesei brut matrițate. Aceste scule sunt matrițele propriu-zise în care sunt prelucrate locaşurile de matrițare (de pregătire-prefinisare, de prefinisare şi de finisare) ;
- *scule pentru debavurare,* ce îndepărtează plusul de material fie sub formă de bavură, fie sub formă de punțițe ale găurilor şi dau conturul final al piesei matrițate.

În general, orice matriță se compune din două părți distincte numite *semimatrițe,* separate între ele printr-un plan de separație. Forma locaşului de deformare al matriței depinde atât de modul cum are loc matrițarea, cât şi de echipamentul tehnologic pe care se face matrițarea. Astfel, pentru matrițarea cu bavură se folosesc matrițe deschise (fig. 5.104. a) prevăzute cu canale de bavură, iar pentru matrițarea fără bavură se folosesc matrițele închise (fig. 5.104. b).

În cazul cel mai des acceptat al folosirii matrițelor deschise, pentru a se obține o umplere completă a locaşului de matrițare şi o piesă matrițată cât mai

bună, volumul semifabricatului inițial trebuie să fie mai mare decât volumul piesei matrițate finite, plusul de material fiind colectat de canalul de bavură. Rolul canalului de bavură este :

- de a forța materialul care se deformează să umple mai întâi cavitățile matriței şi a obține o piesă de configurație complexă fără defecte de umplere ;
- de a colecta plusul de material care curge şi a evita spargerea semimatrițelor ;
- de a atenua loviturile semimatriței superioare asupra celei inferioare.

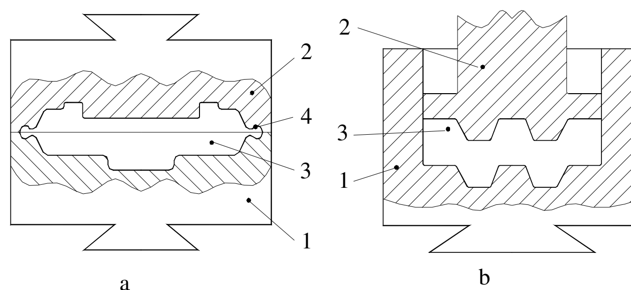


Fig. 5.104. Tipuri de matrițe:
a – deschise; b – închise: 1 – semimatrița inferioară; 2 – semimatrița superioară; 3 – locaşul de matrițare; 4 – canalul de bavură.

Forma şi dimensiunile canalului de bavură se aleg în funcție de complexitatea piesei, de natura materialului din care este confecționată piesa matrițată şi de utilajul pe care se execută matrițarea. Cele mai frecvent utilizate canale de bavură se prezintă în figura 5.105. Cea mai corectă formă a canalului de bavură, din punct de vedere al curgerii materialului, este cea din figura 5.105.a, pentru piesele de configurație simplă, şi din figura 5.105.c, pentru piesele de configurație complexă. Materialul semifabricatului inițial este strangulat la ieşirea din locaşul de matrițare, pentru a permite mai întâi umplerea acestuia şi numai după aceea este lăsat să curgă liber în canalul de bavură.

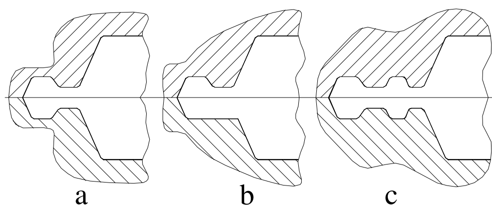


Fig. 5.105. Diferite forme constructive pentru canalul de bavură:
a - pentru piese cu configurație simplă din materiale cu plasticitate bună; b – pentru piese cu configurație simplă din materiale cu plasticitate scăzută; c – pentru piese cu configurație complexă din materiale cu plasticitate ridicată.

Pentru a evita spargerea matriței, trebuie ca plusul de material să nu umple decât 0,6…0,8 din volumul canalului de bavură.

În cazul matrițelor închise cantitatea de material necesară obținerii piesei matrițate trebuie calculată foarte exact, în caz contrar există riscul spargerii matriței, de aceea se folosesc mai rar.

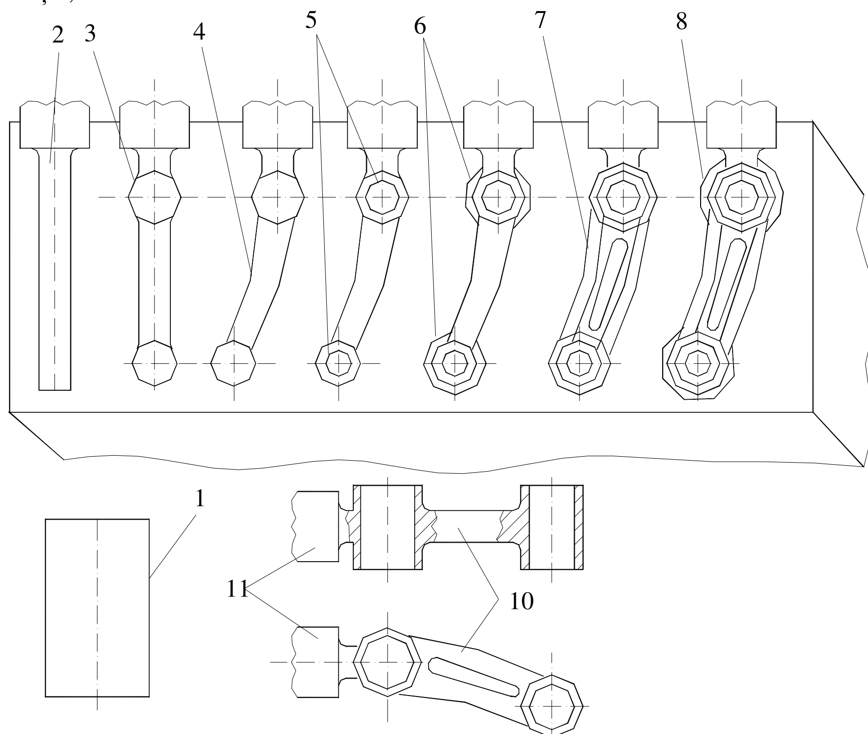


Fig. 5.106. Matrița multiplă:
1 – semifabricatul inițial; 2 – locaşul de întindere; 3 – locaşul de turtire şi lățire; 4 – locaşul de îndoire; 5 – locaşul de perforare cu puntițe; 6 – locaşul pregătitor-prefinisor; 7 – locaşul prefinisor; 8 – locaşul finisor; 9 – partea superioară a matriței; 10 –piesa finită; 11 – capăt de prindere.

După numărul de locaşuri de deformare existente în semimatrițe, matrițele pot fi : *simple* sau *cu un singur locaş de deformare* (fig. 5.104), pentru piesele simple şi *multiple* sau *cu mai multe locaşuri de deformare* (fig. 5.106), pentru piesele cu configurație complexă. În acest caz, matrițarea are trasate locaşurile necesare fiecărei faze ale matrițării semifabricatului inițial 1, care trece succesiv prin locaşul de întindere 2, locaşul de turtire şi lățire 3, locaşul de îndoire 4, locaşul de perforare cu puntițele 5, locasul pregătitor-prefinisor 6, locaşul prefinisor 7 şi locaşul finisor 8, rezultând în final piesa finită 10, după detaşarea capătului de prindere 11.

Capătul de prindere este necesar transferării semifabricatului dintr-un locaş în altul, cu ajutorul cleştelui de prindere. Detaşarea capătătului de prins în cleşte se face în locaşul de retezare al matriţei prevăzul în unul din colţurile matriţei. Detaşarea piesei matriţate 1 (fig. 5.107), de bara semifabricat sau capătul de prindere 2 se face cu ajutorul cuţitului matriţei, format din cele două tăişuri asociate 3 şi 4.

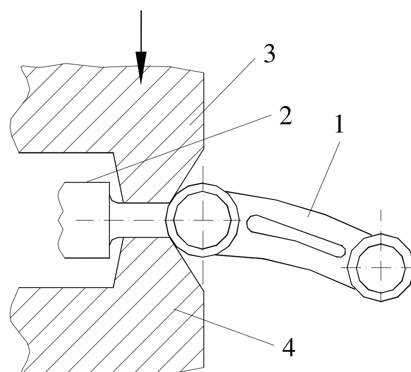


Fig. 5.107. Locaşul de retezare (detaşare) al matriţei :
1 – piesa brut-matriţată; 2 – bara-semifabricat sau capătul de prindere; 3,4 – tăişurile asociate ale matriţei.

În cazul producţiei de serie mare sau de masă, fiecare locaş de deformare este executat pe o matriţă separată şi montată fiecare pe un alt utilaj, amplasate în fluxul tehnologic corespunzător, ceea ce permite o productivitate foarte ridicată.

Deoarece matriţa este foarte puternic solicitată în timpul deformării plastice a materialului, se recomandă realizarea ei din materiale cu proprietăţi de rezistenţă şi refractaritate foarte bune.

Câteva recomandări de alegere a materialelor pentru confecţionarea de matriţe se dau în continuare;

- pentru matriţele mijlocii cu locaşuri simple şi cu adâncime mai mică de 15mm se utilizează cu bune rezultate oţelurile de tipul MoCrNi15;
- pentru matriţele mijlocii dau rezultate bune oţelurile de tipul VMoCrNi17 şi VMo23;
- pentru matriţele mari, cu locaşuri complicate puternic solicitate, se recomandă oţelurile de tipul: VMoCrNi17; W66 şi oţelurile înalt aliate turnate de tipul W77;
- pentru matriţele mari de ambutisare la cald a tablelor se recomandă fontele speciale din categoria celor aliate cu cupru şi crom ;
- pentru matriţele foarte puternic solicitate se recomandă carburile metalice de wolfram (CW), de titan (TiC) de tantal (TaC) şi de crom (Cr_3C_2);

- pentru matrițele utilizate în aeronautică, în producția de serie mică se folosesc rășinile epoxidice cu diferite adaosuri pentru creșterea rezistentei la uzură.

5.10.4.4. Bazele teoretice ale matrițării

În cazul cel mai general se poate considera că materialul semifabricatului inițial introdus în locașul de matrițare trece prin trei perioade distincte (fig. 5.108):

- perioada în care are loc deformarea materialului semifabricatului în interiorul locașului de matrițare fără curgerea materialul în bavură (fig. 5.108. b) ;

- perioada în care are loc umplerea locașului de matrițare cu curgerea simultană a materialului pe puntița bavurii (fig. 5.108. c) ;

- perioada în care are loc numai curgerea surplusului de material în magazia bavurii (fig. 5.108. d).

În stabilirea tehnologiei optime de matrițare, precum și în dimensionarea matrițelor și alegerea utilajelor necesare matrițării, o problemă importantă o constituie calculul forței de matrițare, presiunii și lucrului mecanic de matrițare. Deoarece forma pieselor matrițate este complexă și deformarea materialului este neuniformă, este foarte dificilă stabilirea unor relații precise de calcul.

Forța de matrițare se stabilește în primul rând în funcție de modul de deformare la matrițare : matrițarea cu bavură, matrițarea fără bavură și matrițarea prin extrudare.

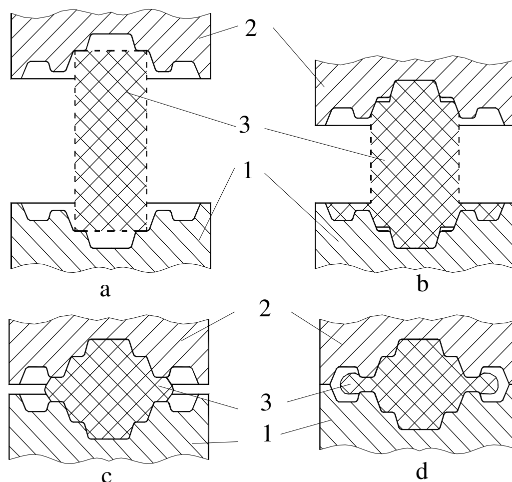


Fig. 5.108. Perioadele procesului de deformare a materialului la matrițare:
a – faza inițială; b – perioada în care are loc deformarea materialului în interiorui locașului de matrițare; c – perioada în care are loc umplerea locașului de matrițare simultan cu curgerea materialului pe puntița bavurii; 1 – semimatrița inferioară; 2 – semimatrița superioară; 3 – semifabricat; 4 – surplusul de material din magazia bavurii.

La matrițarea cu bavură, forța P_m de matrițare se compune din forța necesară deformării materialului, pe porțiunea puntiței bavurii P_b, şi forța necesară deformării materialului în locaşul de matritare P_p, deci

$$P_m = P_b + P_p \,. \tag{5.187}$$

Deformarea materialului pe porțiunea puntiței (fig. 5.109) are loc prin refulare, şi calculul forței de deformare se face ca la operația de refulare. Deci presiunea necesară deformării P_b pentru piesele lungi este:

$$p_b = 2 \cdot \tau \cdot \left(1 + \frac{l_b}{h_b}\right), \tag{5.188}$$

iar forța P_b necesară deformării în acestă zonă este

$$P_b = 2 \cdot \tau \cdot \left(1 + \frac{l_b}{h_b}\right) \cdot l_b \cdot L_b \,, \tag{5.189}$$

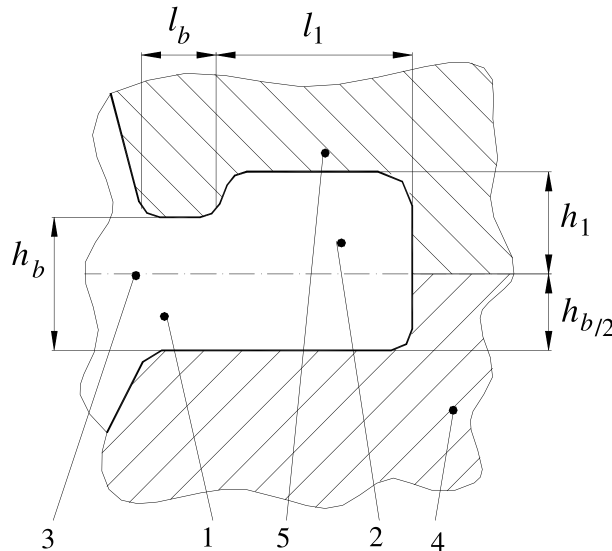


Fig. 5.109. Canal de bavură obişnuit:
1 – puntița bavurii; 2 – magazia bavurii; 3 – plan de separație; 4 – semimatrita inferioară; 5 – semimatrița superioară; l_b – lățimea puntitei; h_b – înălțimea puntiței.

în care: τ este efortul tengențial maxim; l_b – lățimea puntiței bavurii; h_b – înățimea puntiței bavurii*;* L_b – lungimea medie a bavurii pe porțiunea puntiței care se poate lua aproximativ egală cu perimetrul piesei matrițate pe suprafața de separație.

La piesele circulare este supus deformării şi materialul care a curs în magazia bavurii, şi presiunea necesară deformării pe porţiunea puntiţelor, p_b, în acest caz devine:

$$p_b = 2 \cdot \tau \cdot \left(1{,}5 + \frac{l_b}{h_b}\right), \tag{5.190}$$

iar forţa P_b necesară deformării este:

$$P_b = 2 \cdot \tau \cdot \left(1{,}5 + \frac{l_b}{h_b}\right) \cdot l_b \cdot \pi \cdot (D_b + l_b)\,, \tag{5.191}$$

în care: D_p este diametrul piesei în planul de separaţie. Pentru a analiza deformarea materialului în locaşul de matriţare se consideră că volumul semifabricatului din locaş se împarte în două zone (fig. 5.110):

- zona I care se găseşte în partea centrală a semifabricatului, de ambele părţi ale planului de separaţie, în formă de lentilă convexă, din care se scurge surplusul de material din locaş în bavură ;

- zona II, de ambele părţi ale zonei I, ce poate fi considerată ca o zonă staţionară, mărimea deformării aici fiind neglijabilă.

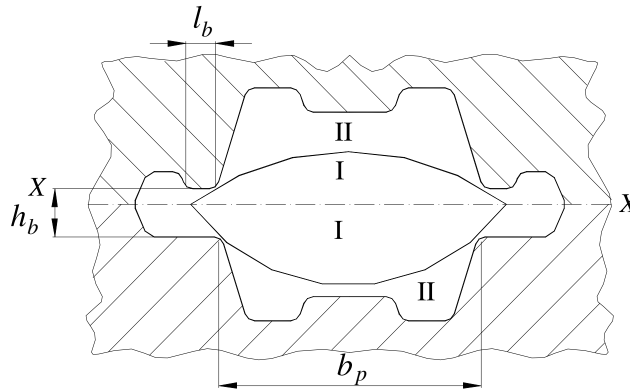


Fig. 5.110. Zonele specifice de deformare ale materialului la matriţarea cu bavură.

În acest caz presiunea necesară deformării p_b, pentru piesele lungi se, calculează la fel ca la refulare, având expresia:

$$p_b = 2 \cdot \tau \cdot \left(1{,}5 + \frac{l_b}{h_b} + 0{,}15\frac{b_p}{h_b}\right), \tag{5.192}$$

iar forţa de deformare P_b devine

$$P_b = 2 \cdot \tau \cdot \left(1{,}5 + \frac{l_b}{h_b} + 0{,}15\frac{b_p}{h_b}\right) \cdot S_p\,, \tag{5.193}$$

în care: b_p este lățimea piesei matrițate ; S_p – secțiunea piesei matrițate în planul de separație.

Pentru piesele circulare presiunea de deformare p_b este dată de relația

$$p_b = 2 \cdot \tau \cdot \left(1{,}5 + \frac{l_b}{h_b} + 0{,}1\frac{D_p}{h_b}\right), \tag{5.194}$$

iar forța de deformare P_b, de relația :

$$P_b = 2 \cdot \tau \cdot \left(1{,}5 + \frac{l_b}{h_b} + 0{,}1\frac{D_p}{h_b}\right) \cdot \frac{\pi \cdot D_p^2}{4}\,, \tag{5.195}$$

în care: D_p – este diametrul piesei matrițate înplanul de separație.

La matrițarea fără bavură zonele specifice deformării diferă de matrițarea cu bavură existând o zonă centrală de o înălțime aproximativ constantă (fig. 5.111), orientată la margine spre muchiile piesei, în intervalul căreia deformarea se produce mai pronunțat.

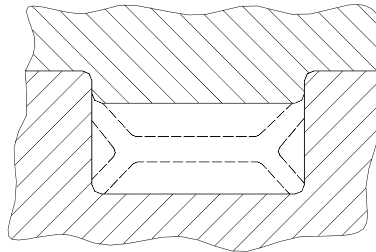


Fig. 5.111. Zonele specifice deformării la matrițarea fără bavură.

Deoarece prin matrițarea fără bavură se obțin piese de formă circulară (fig. 5.112) pe suprafața de separație presiunea p de deformare se calculează cu relația:

$$p = 2 \cdot \tau \cdot \left[2 + \frac{D}{6 \cdot r} + 2 \cdot \frac{H - 2r}{D} - 0{,}05\frac{(D - H)^2}{r \cdot D^2}\right], \tag{5.196}$$

iar forța de matrițare P devine:

$$P = 2 \cdot \tau \cdot \left[2 + \frac{D}{6 \cdot r} + 2 \cdot \frac{H - 2r}{D} - 0{,}05\frac{(D - H)^2}{r \cdot D^2}\right] \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}\,, \tag{5.197}$$

în care: τ este efortul tangențial maxim; D – diametrul piesei; H – înălțimea piesei; r – raza de racordare a muchiei piesei.

Lucrul mecanic necesar matrițării permite în primul rând alegerea corectă a utilajului folosit la matrițare şi în al doilea rând calculul numărului de lovituri necesar matrițării. Calculul lucrului mecanic necesar matrițării este deosebit de dificil, deoarece pe baza factorilor variabili (temperatură, viteză de deformare, neomogenitatea materialului etc.) apare şi dificultatea stabilirii precise a gradului de deformare (datorită complexității formei piesei şi neuniformității volumului semifabricatului).

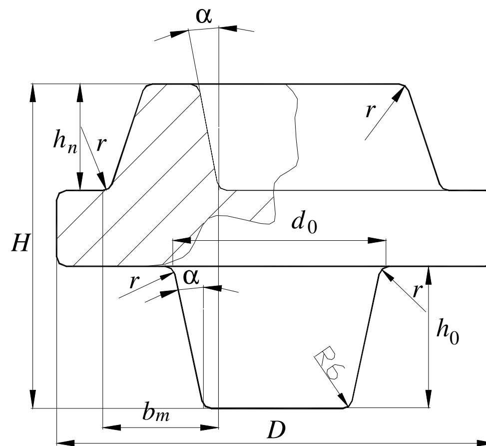


Fig. 5.112. Mărimile specifice ale unei piese cilindrice matrițate fără bavură.

Ținând cont de graficul de variație al forței de matrițare P_m, cu mărimea deformării Δh se poate aproxima lucrul mecanic necesar matrițării L_m cu o relație de forma:

$$L_m = \frac{1}{3} \cdot P_m \cdot \Delta h \,, \qquad (5.198)$$

în care P_m se calculează cu una din relațiile date anterior.

La matrițarea prin extrudare, presiunea şi forța necesară matrițării se calculează cu aceleaşi relații de calcul de la extrudare.

5.10.4.5. Diferite procedee tehnologice de matrițare. Produse obținute prin matrițare

Matrițarea se poate realiza prin următoarele variante de procedee tehnologice: matrițarea pe ciocane, matrițarea pe prese, matrițarea pe maşina de forjat orizontală şi matrițarea pe maşini şi instalații speciale.

Matrițarea pe ciocane se efectuează pe utilaje de deformare numite ciocane matrițoare, şi deformarea materialului semifabricatului inițial se face succesiv, sub acțiunea unor forțe de lovire, până la umplerea completă a locaşului matriței. Pentru a obține umplerea cât mai bună a locaşului de matrițare şi o piesă cât mai bine executată, volumul semifabricatului de pornire (inițial) trebuie să fie mai mare decât volumul piesei matrițate, surplusul de material fiind colectat de magazia canalului de bavură.

Schema de principiu cea mai des folosită este cea prezentată în figura 5.102.

Proiectarea procesului tehnologic de matritare pe ciocane este în strânsă legătură cu modul de funcționare al ciocanului şi cu caracteristicile principale ale piesei ce se vrea obținută, şi anume : forma şi dimensiunile de gabarit ale piesei; calitatea materialului din care se execută piesa (structura şi proprietățile funcționale); condițiile tehnice de generare (precizia geometrică şi rugozitatea) ; mărimea lotului de fabricație. Pentru proiectarea matrițelor şi alegerea fazelor de matrițare pe ciocane trebuie ținut cont de următoarele:

- forma planului de separație;
- forma axei principale a piesei (axa ce trece prin centrele de greutate ale secțiunilor transversale, ce poate fi dreaptă, curbă sau frântă);
- configurația geometrică a piesei şi relația dintre dimensiunile de gabarit în plan.

În funcție de aceste elemente, piesele obținute prin matrițarea pe ciocane se împart în următoarele categorii (fig. 5.113):

- piese cu axa dreaptă şi alungită (fig. 113. a);
- piese cu axa curbă (fig. 5.113. b);
- piese cu ieşituri (fig. 5.113. c);
- piese cu ramificații (fig. 5.113. d);
- piese rotunde, pătrate sau rectangulare în plan (fig. 5.113. e);
- piese de formă mixtă (fig. 5.113. f);

Matrițarea pe prese diferă esențial de matrițarea pe ciocane, prin aceea că la prese viteza de deformare a organelor ce deformează materialul este mult mai mică în raport cu cea de la ciocane, deformarea semifabricatului făcându-se în toată masa sa. De aceea, la matrițarea pe prese se pot executa unele operații ce nu pot fi realizate la matrițarea pe ciocane, ca de exemplu : perforarea, extrudarea, precum şi unele operații combinate. Matrițarea la prese în matrițe deschise (cea mai des întâlnită) se face după schema din figura 5.102 şi prezintă o serie de avantaje în raport cu matrițarea pe ciocane şi anume:

- precizie mai mare pentru piesele matrițate datorită cursei rigide a culisoului presei;
- înclinații mai mici la pereții cavității datorită prezenței extractoarelor;
- consumul mai mic de energie şi de material (adaosurile de înclinare şi cele tehnologice sunt mai mici);

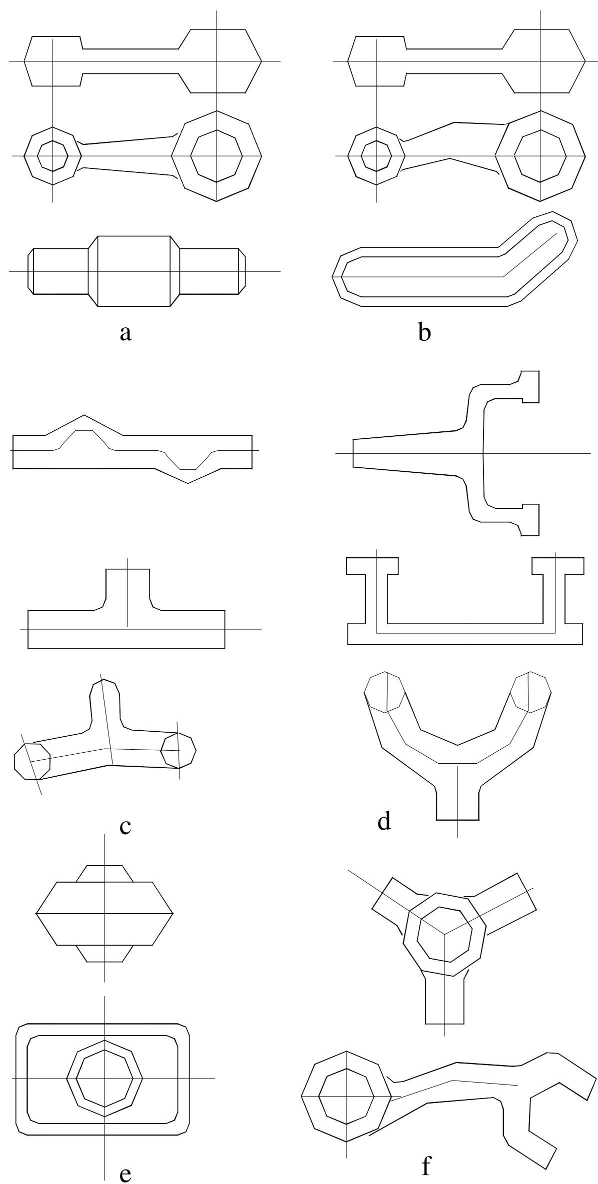


Fig. 5.113. Câteva forme de piese matrițate la ciocane:
a - piese cu axa dreaptă şi alungită ; b - piese cu axa curbă ; c - piese cu ieşituri ; d - piese cu ramificații ; e - piese rotunde, pătrate sau rectangulare în plan ; f - piese de formă mixtă.

- zgomote şi trepidații mai mici;

- posibilitatea realizării unor operații ce nu pot fi realizate prin matrițarea pe ciocane;
- deservirea uşoară şi sigură;
- posibilitatea mecanizării şi automatizării procesului;
- productivitatea ridicată;
- permite matrițarea unor piese de dimensiuni mai mar ;

Matrițarea pe prese diferă în funcție de tipul preselor folosite deosebindu-se: matritarea pe *prese cu excentric* şi *manivelă*; matrițarea pe *prese hidraulice* şi matrițarea pe *prese cu fricțiune*.

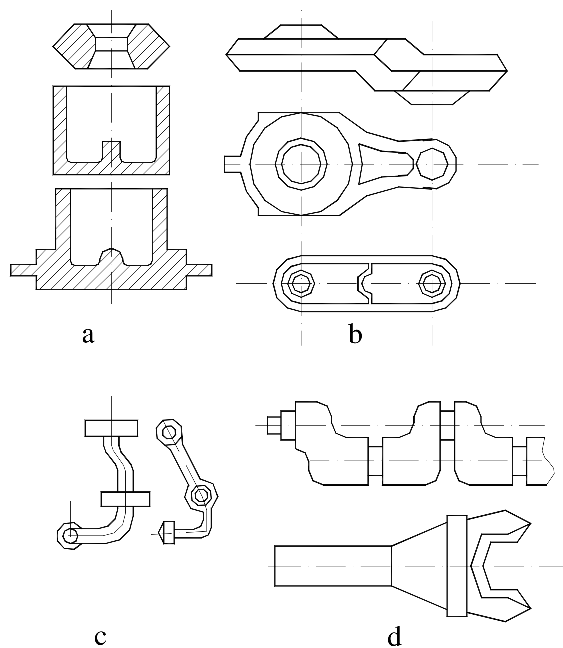


Fig. 5.114. Câteva forme de piese matrițate la presele cu excentric şi manivelă:
a - rotunde sau pătrate în plan; b - cu axă alungită; c - cu axă curbă; d - formă complexă.

Piesele ce pot fi obținute prin matrițarea pe prese cu excentric şi manivelă se împart în următoarele categorii:
- rotunde sau pătrate în plan (fig. 5.114. a);
- cu axă alungită (fig. 5.114. b);
- cu axă curbă (fig. 5.114. c);
- formă complexă (fig. 5.114. d);

Matrițarea pe *presele hidraulice* se caracterizează printr-o viteză de deformare mai mică decât pe celelalte prese (0,15…0,20 m/s), de aceea se aplică la realizarea unor piese din materiale cu plasticitate scăzută şi de mare precizie.

Forma pieselor ce se pot matriţa pe presele hidrauluice se prezintă în figura 5.115, deosebindu-se :

- piese cu cavităţi adânci sau cu găuri pătrunse (fig. 5.115. a) ;
- piese de tipul bucşelor compacte sau cu cavităţi mici (fig. 5.115. b) ;
- piese de tipul racordurilor cu cavităţi şi adâncituri (fig. 5.115. c).

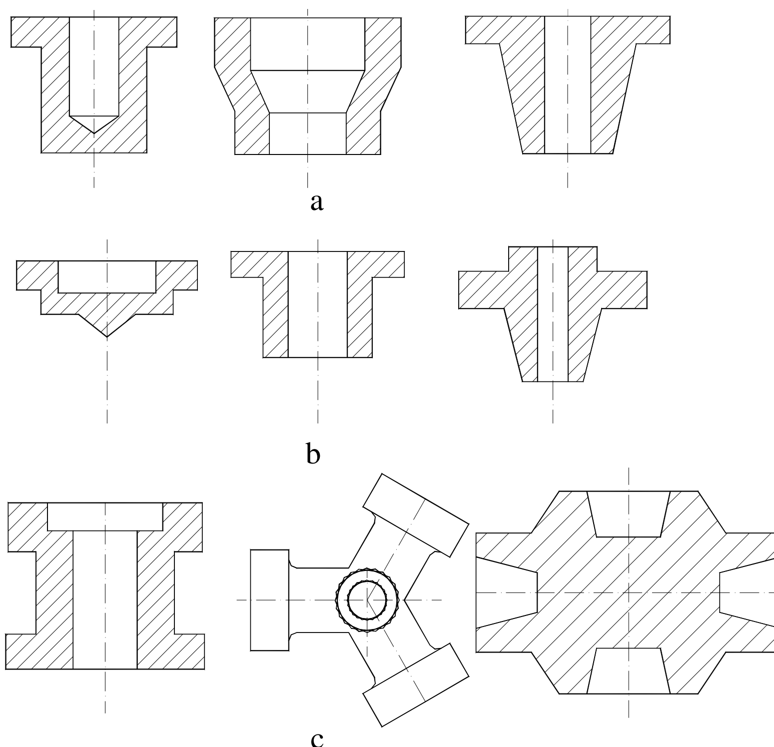


Fig. 5.115. Câteva forme de piese matriţate la presele hidraulice:
a - piese cu cavităţi adânci sau cu găuri pătrunse; b - piese de tipul bucşelor compacte sau cu cavităţi mici; c - piese de tipul racordurilor cu cavităţi şi adâncituri.

Matriţarea pe *maşina de forjat orizontal* se aplică mai ales pentru obţinerea de piese mici şi mijlocii în producţia de serie mare sau de masă. Maşinile de forjat orizontal se bazează pe mecanisme tip bielă-manivelă la care berbecul (patina) ce poartă scula de lucru execută o mişcare de du-te-vino în direcţie orizontală (fig. 5.115). Semifabricatul 1 încălzit la temperatura de început de deformare, de obicei de tipul barelor sau ţevilor, se introduce şi avansează în direcţia I prin ferestra laterală 2, a suportului port-matriţă 3, până în dreptul opritorului 4. O dată poziţionat semifabricatul la lungimea l_i, opritorul se retrage în direcţia II, iar semimatriţa mobilă 5, se deplasează pe verticală în direcţia III pe ghidajele 6, până

se închide cu semimatrița fixă 7, rezultând locașul de matrițare 8. Abia după aceea, berbecul orizontal 9 se deplasează în cursa activă (direcția IV) şi partea semifabricatului de lungime l_i se deformează şi umple locaşul de matrițare. În vederea eliberării piesei obținute, prin deschiderea matriței, mişcările se succed în ordine inversă.

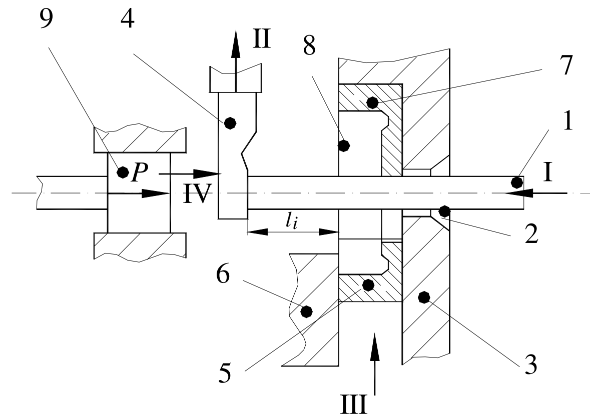


Fig. 5.116. Matrițarea la maşinile de forjat orizontal :
1 – semifabricatul inițial; 2 – fereastra laterală; 3 – support port-matriță; 4 – opritorul; 5 – semimatriță mobilă; 6 – ghidajele; 7 – semimatriță fixă; 8 – locaşul de matrițare; 9 – berbecul (patina).

Pe maşinile de forjat orizontal se execută operații ca: refularea, perforarea nepătrunsă, străpungerea, găurirea, extrudarea, îndoirea şi altele, obținându-se de obicei piese simetrice cu secțiuni variabile de-a lungul axei lor, piese găurite complet sau incomplet etc. Forma pieselor ce se pot obține pe maşina de forjat orizontală se prezintă în figura 5.116, deosebindu-se :

- piese de tipul tijelor cu îngoşări de-a lungul axei (fig. 5.116. a);
- piese găurite complet (fig. 5.116. b) ;
- piese incomplet găurite (fig. 5.116. c) ;
- piese de configurație complexă (fig. 5.116. d).

5.10.4.6. Tehnologia matrițării

Pentru a realiza o piesă prin matrițare trebuie parcurse următoarele etape:

1 – Analiza sau stabilirea rolului funcțional al piesei – plecând de la desenul piesei finite şi apoi se face analiza morfofuncțională a suprafetelor;

2 – Alegerea materialului optim pentru confecționarea piesei – folosind metoda de analiză a valorilor optime. În vederea stabilirii ponderilor factorilor se au în vedere proprietățile de plasticitate;

3 – Întocmirea desenului piesei brut matrițate. Obținerea unei piese prin matrițare cu precizia geometrică prescrisă pe desenul piesei finite depinde în

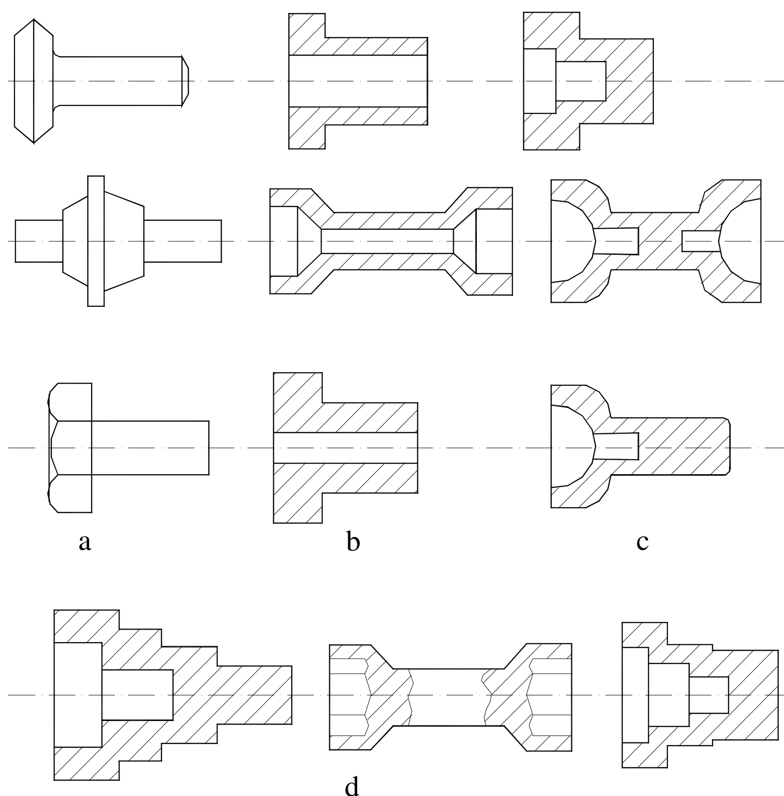


Fig. 5.116. Câteva forme de piese matrițate pe maşina de forjat orizontal:
a - piese de tipul tijelor cu îngoşări de-a lungul axei; b - piese găurite complet; c - piese incomplet găurite; d - piese de configurație complexă.

primul rând de proiectarea corectă a piesei matrițate. În vederea întocmirii desenului piesei brut matrițate trebuie făcută a analiză a următoarelor aspecte:

- tehnologicitatea construcției piesei;
- dacă la piesele mai complicate se poate schimba forma, fără a se modifica rolul funcțional, pentru a se putea obține prin matrițare şi mai economic;
- dacă nu este posibil ca o piesă complicată să se obțină din mai multe piese simple şi apoi să se asambleze prin sudare sau alte procedee;
- dacă nu se pot matrița simultan două sau mai multe piese identice care să se separe ulterior;
- dacă unele suprafețe de dimensiuni mai mari nu pot fi matrițate să poată să fie obținute prin forjare liberă ;
- solicitările la care este supusă piesa pentru a scoate în evidență zonele cu solicitare maximă;

- care este suprafața tehnologică de bază la prelucrarea prin aşchiere;

- dacă nu sunt necesare anumite porțiuni de prindere a piesei la prelucrarea prin aşchiere, porțiuni situate în afara piesei şi care urmează să fie înlăturate în fazele finale ale prelucrării piesei;

- dacă sunt necesare porțiuni suplimentare din care se vor prelucra ulterior epruvete pentru diferite încercări mecanice şi fizice;

- numărul de piese identice şi/sau complementare ce urmează a fi realizate prin matrițare;

În urma analizei acestor aspecte se poate întocmi desenul piesei brut matrițate pornind de la desenul piesei finite (fig. 5.117, desenul cu linie întreruptă) pe care se adaugă următoarele categorii de adaosuri:

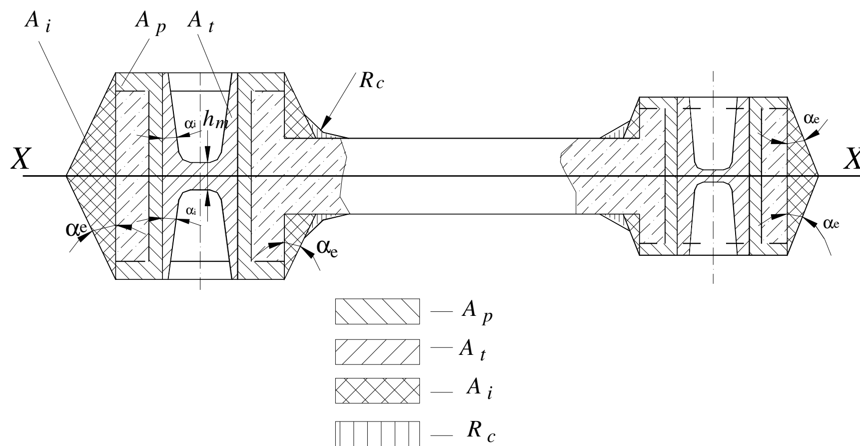


Fig. 5.117. Exemplu de întocmire a desenului unei piese brut matrițate:
A_p – adaosul de prelucrare; A_t – adaosurile tehnologice; A_i – adaosurile de înclinare; R_c – raze de racordare constructivă; α_e, α_i – unghiurile de înclinare exterioare şi respectiv interioare; h_m – grosimea membranei.

- *adaosurile de prelucare* A_p, pe toate suprafețele a căror rugozitate şi precizie dimensională nu pot rezulta în urma procesului de matrițare. De asemenea, mărimea adaosurilor de prelucrare trebuie să asigure şi eliminarea straturilor decarburate şi oxidate de la suprafața pieselor matrițate. Adaosul de prelucrare A_p se calculează cu relația:

$$A_p = A_1 + A_2 + A_3\,, \tag{5.199}$$

în care: A_1 este adaosul corespunzător unei prelucrări de degroşare prin aşchiere şi se calculează cu relația

$$A_1 = a_{ds} + a_{ox} + a_d + a_s + a_t + \delta_0 + \delta_1\,, \tag{5.200}$$

unde: a_{ds} – este adâncimea defectelor de suprafață ale semifabricatului inițial; a_{ox} – adâncimea stratului degradat de imprimarea oxizilor; a_d – adâncimea stratului decarburat; a_s – adaosul pentru siguranță; a_t – adaosul care se prevede la piesele care sunt supuse ulterior tratamentelor termice; δ_n – toleranța negativă (la găuri, pozitivă) a dimensiuni considerate a piesei matrițate; δ_p – toleranța pozitivă (la găuri negativă) la prelucrarea prin aşchiere; A_2 – adaosul suplimentar necesar prelucrării de semifinisare prin aşchiere; A_3 – adaosul suplimentar necesar prelucrării de finisare prin degroşare.

Cu rezultate bune se poate aplica, la calculul adaosului de prelucare la degroşare, o relație determinată experimental, de forma

$$A_p = 0{,}4 + 0{,}015H_p + 0{,}0015L_p, \qquad (5.201)$$

în care: H_p –este înălțimea maximă a piesei matrițate, în mm *;* L_p – lungimea piesei matrițate, în mm.

Mărimea adaosului necesar unei prelucări de semifinisare A_2 – se poate determina cu relația

$$A_2 = \delta_d + a_{sf}, \qquad (5.202)$$

în care*:* δ_d – este abaterea negativă (la găuri pozitivă) la prelucrarea de semifinisare ($\delta_d \cong 1{,}1\ldots0{,}2$ mm); a_{sf} – adaosul minim necesar pentru prelucrarea de semifinisare ($a_{sf} \cong 0{,}2\ldots0{,}3$ mm).

Mărimea adaosului de prelucrare necesar finisării A_3 se poate calcula cu relația:

$$A_3 = \delta_f + a_f, \qquad (5.203)$$

în care: δ_f este abaterea negativă (la găuri, pozitivă) la prelucrarea de finisare ($\delta_f \cong 0{,}05\ldots0{,}1$ mm) ; a_f – adaosul minim necesar pentru prelucrarea de finisare ($a_f \cong 0{,}2\ldots0{,}3$ mm) ;

- *adaosurile tehnologice* A_t, pe toate suprafețele care nu pot rezulta prin matrițare. Ele sunt prezente pe anumite porțiuni ale piesei pentru a face posibilă obținerea piesei prin matrițare. Mărimea adaosului tehnologic depinde de configurația geometrică a piesei, de metoda de matrițare aleasă şi de utilajul folosit. Când piesa are găuri ce urmează a fi obținute prin matrițare, acestea nu se pot obține complet, între cele două proeminențe ale semimatrițelor rămânând o membrană (fig. 5.118) de dimensiuni variabile, alese în funcție de mărimea găurii. În urma rezultatelor experimentale, pentru calculul grosimii h_m a membranei s-a obținut o relație ce dă foarte bune rezultate, de forma

$$h_m = 0{,}45\sqrt{d - 0{,}25h - 5} + 0{,}6\sqrt{h}, \qquad (5.204)$$

în care: d este diametrul găurii, în mm; h – înălțimea găurii până la planul de

separație, în mm.

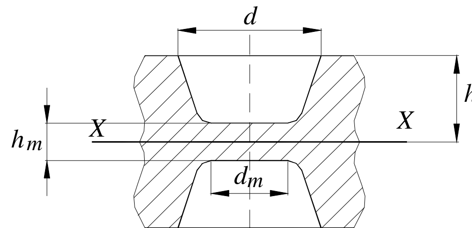


Fig. 5.118. Forma de membrană pentru găurile adânci:
h_m – grosimea membranei ; d_m – diametrul membranei.

Adaosurile tehnologice implică o anumită metodă de matrițare sau un anumit utilaj. De exemplu, piesa din figura 5.119. a, poate fi obținută prin matrițare pe ciocan sau presă (fig. 5.119. b) sau prin matrițare pe maşina de forjat orizontal (fig. 5.119. c) mărimea adaosului tehnologic A_t fiind total diferită.

- *adaosurile de înclinare A_i,* pe toate suprafețele pe care apar forțe de frecare la scoaterea piesei din matriță. La stabilirea înclinărilor de matrițare α, trebuie să se aibă în vedere că, cu cât unghiurile de înclinare sunt mai mari, cu atât mai uşor se pot extrage piesele din locaşul de matrițare. Pe de altă parte, cu cât unghiurile de înclinare sunt mai mari, materialul urcă mai uşor în cavitățile adânci, dar adaosurile de înclinare sunt mai mari. Unghiul de înclinare α se determina din condiția ca forța de scoatere a piesei din matriță să fie practic nulă şi rezultă

$$\mu = \frac{1}{\text{ctg}\alpha}, \qquad (5.205)$$

în care: μ este coeficientul de frecare la interfața material – cavitatea matriței.

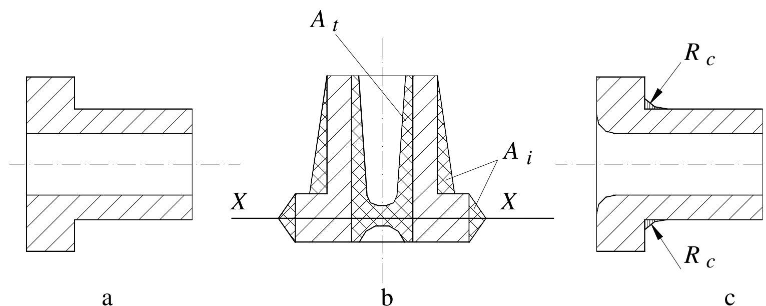


Fig. 5.119. Variațiile adaosului tehnologic A_t şi adaosului de înclinare A_i în funcție de modul de matrițare:
a – piesa finită ; b – piesa matrițată pe ciocan sau presă ; c – piesa matrițată pe maşina de forjat orizontal ; A_t – adaos tehnologic; A_i – adaos de înclinare; R_c – rază de racordare constructivă.

Experimental se constată că rezultate bune se obţin când înclinările suprafeţelor interioare α_i =3….10°, iar ale suprafeţelor exterioare α_e = 1…7°. Pentru micşorarea acestor înlinări şi respectiv a adaosurilor de înclinare se recomandă folosirea unor substanţe de ungere care să micşoreze coeficientul de frecare μ şi folosirea unor matriţe prevăzute cu extractoare.

- *razele de racordare constructivă R_c, respectiv r_c* pe toate suprafeţele care vin în contact cu muchiile exterioare şi muchiile interioare ale matriţei pentru a evita concentrarea tensiunilor interne şi apariţia fisurilor în aceste zone. Cu cât razele de racordare sunt mai mari, cu atât pericolul apariţiei fisurilor este mai mic, dar consumul de material este mai mare. De aceea, mărimea razelor de racordare se alege în funcţie de configuraţia geometrică a piesei existând valori economice determinate experimental ;

- *adaosurile datorate variaţiei de temperatură A_q,* pe toate suprafeţele pieselor matriţate la cald, deoarece piesa este scoasă din matriţă la temperatura de sfârşit de matriţare. Dacă Δt este diferenţa de temperatură dintre tempertura de sfârşit de matriţare şi temperatura mediului ambiant, atunci abaterea dimensională A_q se calculează cu o relaţie de forma

$$A_q = \beta \cdot L_m \cdot \Delta t \ , \tag{5.206}$$

în care: β este coeficientul de dilatare liniară ; L_m – dimensiunea piesei matriţate luate în considerare;

4 – Alegerea poziţiei planului de separaţie *X-X*. Planul de separaţie este necesar pentru desfacerea matriţei înainte şi după matriţare şi pentru execuţia canalului de bavură. Poziţia planului de separaţie este determinată de configuraţia geometrică a piesei, posibilităţile de execuţie (şi de umplere) a matriţei, extragerea piesei matriţate şi de consumul de material în adaosul de înclinare şi în bavură. La alegerea poziţiei planului de separaţie trebuie avute în vedere următoarele recomandări (fig. 5.120):

- să fie pe cât posibil plan de simetrie (fig. 5.120. a) sau să împartă piesa în părţi aproximativ egale;

- să fie pe cât posibil drept (fig. 5.120. b) şi nu frânt, pentru a permite construcţia unor semimatriţe simple şi pentru o debavurare mai uşoară;

- să faciliteze o curgere cât mai uşoară a materialului în locaşul de matriţare (fig. 5.120. c) şi obţinerea piesei matriţate fără defecte de umplere;

- să fie aşa fel ales încât suprafeţele care necesită prelucrări prin aşchiere să fie aşezate perpendicular pe direcţia forţei de matriţare (fig. 5. 120.d), pentru ca adaosurile de prelucrare să fie minime;

- să conţină pe cât posibil suprafata de dimensiune maximă (fig. 5.120. c şi e) în plan orizontal, pentru a permite o curgere bună a materialului, matriţarea fără şocuri şi uzură minimă a matriţelor;

- să permită realizarea unui anumit fibraj în concordanţă cu proprietăţile

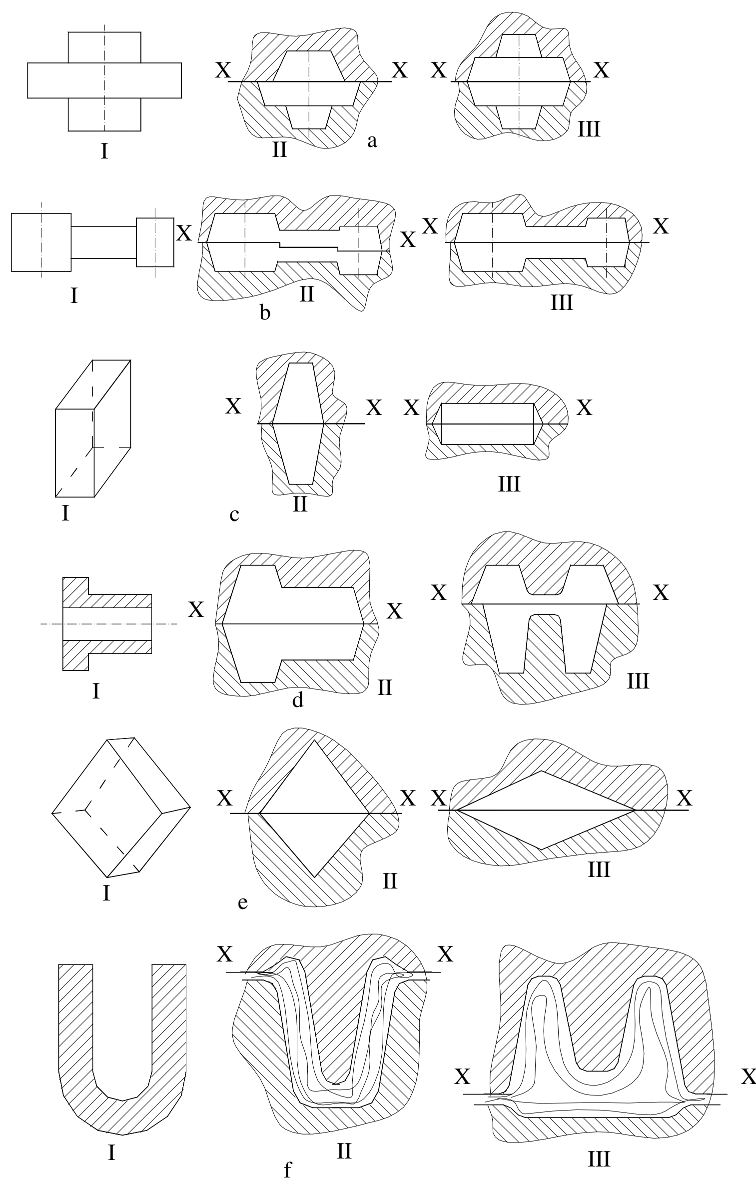


Fig. 5.120. Câteva recomandări pentru alegerea planului de separație X-X la matrițare: I – piesa matrițată ; II – alegerea greşită a planului de separătie ; III – alegerea corectă a planului de separatie ; a – pentru piese cu axe de simetrie ; b – pentru piese de tipul bielelor ; c – pentru piese cu secțiuni pătratice sau rectangulare ; d – pentru piese cu multe suprafețe ce necesită prelucrări ulterioare prin aşchiere ; e – pentru piese cu diferențe mari între dimensiuni în spațiu ; f- pentru profile la care se cer anumite proprietăți pe secțiune în funcție de direcția liniilor de curgere.

mecanice prescrise în anumite direcţii (fig. 5.120. f);

- să permită cele mai mici adaosuri de înclinare A_i (fig. 5.119. 5.120. c).

5 – Calculul masei piesei brut matriţate. Este necesară pentru determinarea masei semifbricatului iniţial. Masa piesei brut matriţată m_{bm} se calculează pornind de la masa piesei finite m_{pf} la care se adaugă toate masele apărute cu adaosurile alese la punctul 3, deci :

$$m_{mb} = m_{pf} + m_a + m_{ap} + m_{at} + m_{ai} + m_{rc} + m_{cb} + m_{rt} + m_{ei}, \qquad (5.207)$$

în care: m_a este masa pierderilor prin ardere ; m_{ap} – masa adaosurilor de prelucrare *;* m_{at} – masa adaosurilor tehnologice ; m_{ai} – masa adaosurilor de înclinare ; m_{rc} – masa adăugată cu racordările constructive ; m_{cb} – masa materialului colectat în canalul de bavură ; m_{rt} – masa apărută ţinând cont de variaţia de temperatură (cazul matriţării la cald) ; m_{ei} – masa apărută cu epruvetele de încercare (dacă este cazul).

6 – Alegerea semifabricatului iniţial se face în funcţie de configuraţia geometrică a piesei finite şi dimensiunile de gabarit ale acesteia. Alegerea semifabricatului iniţial se face în aşa fel încât să permită obţinerea unei piese matriţate cât mai apropiată ca formă şi dimensiuni de piesa finită, cu pierderi tehnologice minime de material şi energie şi printr-un număr cât mai redus de etape. În funcţie de carcteristicile de deformare a materialului, de forma şi mărimea piesei matriţate, de seria cerută şi ţinând cont de legea volumului constant şi relaţia (5.206), ca semifabricate pentru matriţare se utilizează:

- *semifabricatele laminate şi trase* cu secţiune constantă sau cu profil periodic (numai la producţia de masă a pieselor matriţate de dimensiuni mici şi medii, mai ales la producţia de automobile şi tractoare ;

- *semifabricatele forjate,* pentru piesele matriţate de formă complicată, de dimensiuni mari şi medii, în producţia de serie mijlocie şi mică;

- *semifabricatele turnate*, pentru piesele matriţate complicate de dimensiuni mici şi medii, în producţia de serie mare şi de masă sau pentru piese din materiale greu deformabile;

- *semifabricatele sinterizate,* pentru piese de dimensiuni mici, cu o mare diversitate în conţinutul elementele de aliere din material, puternic solicitate în timpul exploatării sau cu proprietăţi speciale.

7 – Debitarea semifabricatului iniţial la dimensiunile necesare – ţinând cont de legea volumul constant şi de modul de matriţare;

8 – Controlul iniţial – un control nedistructiv pentru a depista eventualele defecte interioare ale materialului (incluziunile nemetalice sau de altă natură, fisurile intercristaline, crăpăturile şi defectele de suprafaţă). Se pot folosi pentru control diferite metode alese în funcţie de dimensiunile de gabarit, starea suprafeţei, posibilele defecte ce pot apărea în timpul obţinerii semifabricatului şi proprietăţile materialului (controlul cu radiaţii penetrante, cu ultrasunete, cu lichide penetrante, cu pulberi magnetice, cu curenţi turbionari, prin emisie acustică, prin analiză termografică etc.);

9 – Tratamentul termic inițial – în scopul creşterii proprietăților de plasticitate ale materialului de matrițat. Se alege de regulă recoacerea de înmuiere sau normalizarea în funcție de natura materialului de matrițat;

10 – Pregătirea semifabricatului inițial în vederea matrițării – în funcție de natura materialului de forjat, starea suprafețelor şi configurația geometrică a semifabricatului, metoda de matrițare, modul de matrițare şi utilajul pe care se desfăşoară procesul. Acestă pregătire constă în curățirea, decaparea, deformarea şi ungerea suprafețelor semifabricatului inițial;

11 - Stabilirea parametrilor regimului de încălzire (dacă matrițarea se face la cald) – ținând cont de natura materialului de matrițat (mărimea grăuntelui, rezistența la deformare, plasticitatea la cald, conductibilitatea termică etc.); configurația geometrică şi dimensiunile de gabarit ale semifabricatului inițial şi programa de producție. Se stabilesc următorii parametri ai regimului de încălzire: temperatura de început de matrițare; temperatura de sfârşit de matrițare; viteza de încălzire; durata încălzirii numărul de încălziri şi numărul de deformării (respectiv gradul unitar de deformare) şi mediul de încălzire. A stabili un regim de încălzire adecvat înseamnă stabilirea temperaturilor de început şi de sfârşit a matrițării, uniforme pe secțiunea materialului, în minim de timp, cu o viteză de încălzire care să nu provoace fisuri şi crăpături şi cu un număr minim de deformării.

12 – Alegerea utilajului de încălzire – în funcție de natura materialului de matrițat, configurația geometrică şi dimensiunile semifabricatului inițial, mărimea valorilor parametrilor regimului de încălzire, volumul producției şi productivitatea ce se vrea realizată. La matrițare se folosesc următoarele sisteme de încălzire : încălzirea cu flacără, cu combustibil lichid, cu combustibil gazos şi mediu protector, încălzirea electrică cu rezistență şi prin inducție.

13 – Stabilirea succesiunii logice a operațiilor de deformare la matrițare – ținând cont de caracteristicile materialului de matrițat, forma şi dimensiunile de gabarit ale piesei de matrițate, condițiile tehnice de generare impuse fiecărei suprafețe pe desenul de execuție al piesei finite, de mărimea lotului de fabricație, de metoda de matrițare şi de utilajul folosit la matrițare. Astfel, se stabilesc într-o succesiune logică toate locaşurile de matrițare (atât locaşurile pentru matrițarea propriu-zisă, cât şi locaşurile pregătitoare şi cele pentru operațiile ulterioare matrițării propriu-zise). Locaşurile pregătitoare se aleg în aşa fel încât să aducă semifabricatul inițial la o formă cât mai apropiată de forma piesei matrițate, să permită: o uzură cât mai mică a locaşului de matrițare final şi o stabilitate dimensională pentru piesa matrițată. Se ține cont de rolul fiecărui locaş pregătitor (de gâtuire, de întindere, de rulare, de lățire, de formare, de turtire, de refulare, de perforare nepătrunsă etc.), şi, pentru piesa analizată în figura 5.117*,* se aleg locaşurile prezentate în figura 5.106. Locaşurile de matrițare finală servesc la obținerea piesei finite cu toate dimensiunile şi calitatea suprafețelor date în desenul de execuție. Locaşurile de detaşare servesc la separarea piesei matrițate de semifabricat. Se aleg în funcție de configurația geometrică a piesei brut matrițate,

semifabricatul inițial şi volumul de producție (în cazul producției de serie mică se execută succesiv fiecare operație, folosind o matriță cu locaşuri multiple, pe acelaşi utilaj, iar în cazul unei producții de serie mare şi de masă se execută fiecare operație în locaşul corespunzător, pe matrițe separate, amplasate pe utilaje separate într-o succesiune logică a fluxului tehnologic) .

14 – Alegerea utilajului de matrițare – în funcție de configurația geometrică a piesei finite şi a semifabricatului inițial, de tipul operației ce trebuie executată (pregătitoare, matrițare propriu-zisă, ulterioară matrițării, retezare etc.), condițiile tehnice de generare şi programa de producție. Utilajele folosite la matrițare sunt : ciocanele, presele, maşinile de forjat orizontal, maşinile şi instalațiile speciale.

Ciocanele mecanice se aleg atunci când presiunea de deformare nu trebuie să se transmită în toată masa semifabricatului, când precizia de prelucrare este mai mică, materialul de matrițat permite o acțiune bruscă prin lovire fără posibilitatea apariției de fisuri sau crăpături şi pentru anumite categorii de piese.

Presele se aleg atunci când semifabricatele inițiale sunt de dimensiuni mici şi medii, când presiunea de deformare trebuie să se transmită în toată masa semifabricatului inițial (cu excepția matrițării la maşina de forjat orizontal), precizia de prelucrare este mai bună şi pentru anumite configuratii geometrice de piese.

Maşinile speciale sunt destinate unei game reduse de piese, de regulă în producția de serie mare sau de masă, cu o anumită configurație şi de o anumită mărime, confecționate şi din materiale cu proprietăți de plasticitate scăzute, ele putând lucra prin lovire, prin presare sau combinat.

15 – Încălzirea semifabricatului inițial în vederea matrițării –în utilajul de încălzire ales, până ce s-a atins temperatura de început de matrițare în toată masa semifabricatului ce urmează a fi matrițat.

16 – Pregătirea matrițelor în vederea deformării – pentru a reduce tensiunea termică a matriței şi pentru reducerea frecărilor la interfața material-locaşurile de matrițare. Pregătirea constă în preîncălzirea matriței şi lubrifierea locaşurilor de matrițare. Matrițele se preîncălzesc la 150….200°C, uniform, pe cât posibil în toată masa lor pentru a evita spargerea lor datorită şocurilor termice la care sunt supuse. Lubrifierea se face ținând cont de: forma şi dimensiunile pieselor matrițate; temperatura de început de matrițare şi modul de aplicare al lubrifiantului în matrițe. Ca lubrifiant se utilizează uleiurile, apa sărată, grafitul, bisulfura de molibden, sticla solubilă, topituri pe bază de fosfați şi alții.

17 – Matrițarea propriu-zisă – respectând succesiunea logică a fazelor de deformare stabilită anterior.

18 – Tratamentul termic intermediar (dacă este cazul) – în vederea recăpătării proprietăților de plasticitate şi pentru a putea fi continuată deformarea cerută de locaşurile matrițoare.

19 – Debavurarea – în scopul îndepărtării bavurii rezultate ca urmare a

colectării plusului de material în canalul de bavură. Operația se execută pe matrițe de debavurat şi se poate face la cald sau la rece. Debavurarea se face pe contur exterior (fig. 5.121, a) şi pe contur interior (fig. 5.121, b), în funcție de configurația geometrică a piesei matrițate şi metoda de matrițare.

Operația constă în aşezarea piesei brut matrițate 1, pe matrița 2, prevăzută cu o muchie tăietoare 3, identică cu conturul piesei matrițate în planul de separație *X-X*(fig. 5.121. a) sau cu un locaş de sprijin 3 (fig. 5.121. b), şi retezarea bavurii 5, prin acționarea poansonului 4, cu forța de debavurare P_d (fig. 5.121. a) sau perforarea şi îndepărtarea membranei 5 prin acțiunea poansoanelor de perforare 4, cu forțe de perforare P_p (fig. 5.121. b).

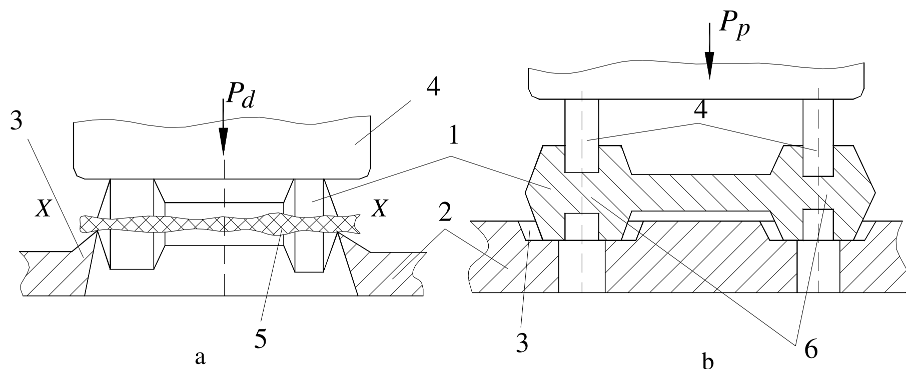


Fig. 5.121. Schema de principiu a debavurării după matrițare:
a – debavurare pe exterior; b – debavurare pe interior; 1 – piesa brut matrițată; 2 – matrița pentru debavurat; 3 – tăiş sau locaş de sprijin; 4 – poanson; 5 – bavură; 6 – membrană.

Forța de debavurare P_d se calculează cu relația :

$$P_d = \beta \cdot k \cdot h \cdot L_m \cdot \tau, \qquad (5.208)$$

în care: β este un coeficient influențat de uzura muchiilor tăietoare; k – coeficient de siguranță (k=1,1...1,3); h – grosimea bavurii; L_m – perimetrul de debavurat; τ - rezistența la forfecare a materialului la temperatura la care se face debavurarea.

Dacă pentru o piesă matrițată este necesară atât debavurarea exterioară, cât şi cea interioară (cazul piesei din figura 5.117), atunci este rațional să se folosească matrițe de debavurat succesive sau combinate. Neregularitățile rămase pe locul unde a fost bavura se pot înlătura prin polizare;

20 – Curățirea pieselor matrițate – în scopul îndepărtării arsurilor şi eventualelor defecte superficiale ce apar în urma procesului de încălzire şi matrițare-debavurare. Se folosesc următoarele procedee de curățire:

- curățirea prin sablare, ce constă în lovirea pieselor cu un jet de nisip uscat. Se aplică la piese de orice formă şi mărime, în camere speciale de sablare;

- curățirea cu jet de alice, ce constă în lovirea pieselor cu jet de alice de otel, de formă neregulată, cu mărimea de 1…3 mm. Se aplică la piese de dimensiuni mici şi mijlocii în camere metalice închise ermetic;

- decaparea, ce constă în îndepărtarea arsurilor, ruginii, grăsimilor etc., folosind diferite soluții chimice. Se execută la piese de orice formă şi mărime având greutatea maximă de până la 10kN.

- curățirea cu perii rotitoare din oțel, ce se aplică pieselor cu pereți subțiri, cu nervuri, cu flanşe, cu palete etc.;

21 – Îndreptarea – în scopul îndepărtării anumitor deformații generale sau locale ce au apărut în timpul procesului tehnologic de matrițare, la debavurare sau în timpul tratamentului termic primar sau intermediar. În funcție de configurația geometrică şi dimensiunile de gabarit ale pieselor matrițate, precum şi în funcție de utilajul folosit la matrițare, îndreptarea se poate face la cald (pentru piesele de dimensiuni mari) şi la rece (de regulă după tratamentul termic final şi curătire. Îndreptarea la cald se face de regulă chiar în locaşul de finisare al aceleaşi matrițe, în care s-a matrițat piesa, sau în matrițe de îndreptat. Îndreptarea la rece se face numai în matrițe de îndreptat la ciocane sau la prese;

22 – Tratamentul termic final – în funcție de destinația ulterioară a piesei matrițate şi pentru a îmbunătăți caracteristicile de exploatare ale piesei matrițate. Tratamentele termice care se aplică pieselor matrițate sunt:

- recoacerea completă, izotermă sau de detensionare ce se face cu scopul aducerii materialului într-o stare de echilibru fizic, fizico-chimic şi structural. Se aplică pentru înlăturarea tensiunilor interne şi îmbunătățirea prelucrabilității prin aşchiere;

- călirea şi revenirea ce se aplică pieselor matrițate când acestea nu necesită prelucrării prin aşchiere.

23 – Calibrarea – în scopul obținerii dimensiunilor finale ale piesei matrițate şi a unei calități mai bune a suprafețelor. În funcție de condițiile de lucru şi dimensiunea la care se referă, calibrarea poate fi: plană, curbilinie sau volumică (mai puțin precisă, acționează asupra întregii piese). În funcție de temperatura la care se desfăşoară, calibrarea poate fi : la cald (pentru piese de dimensiuni mari şi pentru cele confecționate din oțeluri aliate cu rezistență ridicată) şi la rece (pentru piesele mici şi de precizie foarte ridicată).

Calibrarea se execută pe matrițe de calibrat şi funcție de precizia cerută. De exemplu, simpla debavurare pe contur interior (perforare) a bielei (fig. 5.121. b) nu este suficientă, fiind necesară şi o calibrare a găurilor perforate cu ajutorul poansoanelor de calibrare (fig. 5.122). După debavurare şi perforare piesa matrițată 3 se încălzeşte din nou la 800°C şi se aşează pe presă într-o matrită formată din semimatrițele 1 şi 2 foarte precis executate. Se presează puternic cu forța de matrițare P_m, după care se introduc poansoanele de calibrare 4 şi 5 sub acțiunea forței de calibrare P_c;

24 – Controlul final – un control nedistructiv pentru a depista eventualele

defecte interioare şi un control dimensional.

25 – Ambalarea şi trimiterea către beneficiar – în funcție de destinația ulterioară a piesei matrițate (fie se trimite secțiilor de montaj, fie secțiilor de prelucrare prin aşchiere).

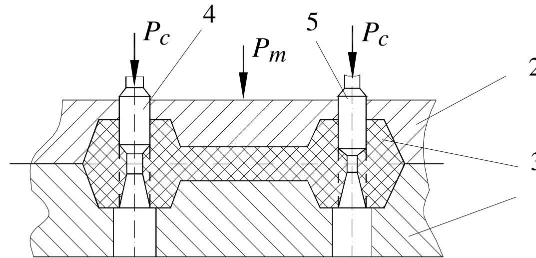


Fig. 5.122. Calibrarea bielei:
1 – semimatriță inferioară ; 2 – semimatriță superioară ; 3 – piesa matrițată ; 4 şi 5 – poansoane de calibrare.

5.10.4.7. Defectele pieselor matrițate

Defectele ce pot apărea la piesele matrițate se împart în două categorii:

a) defectele de material datorate elaborării necorespunzătoare a materialului sau laminării necorespunzătoare. Dintre defectele de material cele mai des întâlnite pot fi menționate:

- *incluziunile nemetalice* care sunt particule de impurități (oxizi, silicați, fosfați etc.) care nu aparțin masei metalice de bază. Nu pot fi înlăturate prin matrițare ;

- *fragilitatea la cald* care este dată de tendința oțelurilor de a se fisura sau crăpa în timpul deformării plastice la cald. În timpul matrițării poate apărea fragilitatea la cald (la temperaturi apropiate de temperatura de început de deformare) sau/şi fragilitatea la roşu (la temperaturi apropiate de temperatura de sfârşit de deformare). Fragilitatea la roşu conduce la apariția fisurilor şi crăpăturilor în timpul matrițării;

- *fisurile intercristaline* sunt defecte ce se întâlnesc mai des la oțelurile aliate şi care pot fi înlăturare dacă deformarea plastică se face la temperaturi cât mai ridicate şi cu caroiaje mari;

- *defectele de suprafață* care constau din crăpături la cald, suprapuneri de material, suduri la rece şi alte defecte ce se văd cu ochiul liber. Se înlătură prin curățire, iar dacă depăşesc limitele admisibile, materialul inițial nu poate fi folosit;

b) defectele de deformare plastică sunt acele defecte care apar în timpul operațiilor pregătitoare, în timpul matrițării şi în timpul operațiilor ulterioare matrițării. În timpul operațiilor pregătitoare pot apărea următoarele defecte:

- *decarburarea,* ce constă în micşorarea conținutului de carbon în stratul exterior al piesei matrițate şi apare în timpul procesului de încălzire. Deoarece în

stratul decarburat proprietățile mecanice ale oțelurilor sunt diferite de cele ale masei metalice de bază, prezența decarburăii este admisă numai pentru piesele matrițate care se prelucrează apoi prin așchiere, iar adâncimea totală a stratului decarburat trebuie să fie mai mică decât valoarea adaosului de prelucrare;

- *supraîncălzirea*, ce constă într-o creștere exagerată a mărimii grăunților în timpul încălzirii și menținerii la temperatură ridicată. Apare atunci când se depășește temperatura de început de deformare și conduce la o reducere considerabilă a proprietăților mecanice. Acest defect poate fi înlăturat folosind un tratament termic de recoacere sau normalizare;

- *arderea*, ce constă în creșterea exagerată a mărimii grăunților însoțită și de topirea limitelor dintre grăunți. Apare atunci când s-a depășit cu mult temperatura de început de deformare, ajungându-se imediat sub curba solidus.

În timpul matrițării propriu-zise pot apărea următoarele categorii de defect:

- *fisurile și crăpăturile*, ce constau în discontinuități interne și respectiv externe de material (în funcție de locul unde apar, în inerior sau cele care comunică cu exteriorul). Principala cauză a apariției fisurilor longitudinale o constituie neuniformitatea deformației și valoarea indicilor de plasticitate. Cauza apariției fisurilor transversale o constituie tensiunile de întindere longitudinală care se creează în timpul deformării plastice în zona axială a semifabricatului;

- *suprapunerile de material* (stratificările), ce constau în distrugerea integrității materialului în straturile interioare și împărțirea acestuia în două sau mai multe părți. Apar de regulă la trecerea de la o secțiune la alta și se datorează întocmirii greșite a tehnologiei de matrițare, alegerii necorespunzătoare a semifabricatului și lipsei unor operații pregătitoare. Stratificările sunt niște goluri alungite cu grosimea foarte mică (aproximativ 0,001 mm) și lățime (2….30 mm) și lungimi de până la 50 mm. Pentru evitarea acestora este necesar ca atât tehnologia de matrițare, cât și dimensiunea matriței să fie cât mai corecte;

- *amprentele,* ce constau în urme de arsuri matrițate împreună cu piesa. Sunt de dimensiuni variabile în funcție de cantitatea de arsură și se mai numesc și imprimări.

- *abaterile dimensionale,* ce constau în neconcordanțe dintre dimensiunile reale ale piesei obținute prin matrițare și cele indicate pe desenul de execuție. Aceste defecte sunt datorate greșelilor de proiectare sau debitării semifabricatului la dimensiuni mai mici decât cele necesare. Abaterile dimensionale pot fi pozitive, constituind defecte remediabile prin așchiere, și negative, constituind defecte neremediabile;

- *matrițarea incompletă,* ce constă în mărirea tuturor dimensiunilor piesei matrițate în direcție perpendiculară pe suprafața se separație. Cauzele matrițării incomplete sunt: încălzirea insuficientă a semifabricatului, matrițarea cu lovituri de intensitate pre mică, locașul de bavură dimensionat greșit etc. Defectul se remediază prin matrițare în continuare;

- *dezaxarea,* ce constă în deplasarea, în suprafața de separație, a unei

jumătăți a piesei matrițate față de cealaltă jumătate. Cauza acestor defecte o constituie montarea greşită a matrițelor sau dezaxarea acestora în timpul matrițării;

În timpul operațiilor ulterioare operației de matrițare propriu-zisă mai pot apărea următoarele defecte:

- *crăpăturile şi fisurile la rece*, ce constau în discontinuități de material în interior sau care comunică cu exteriorul piesei matrițate. Apar după răcirea totală a materialului şi uneori chiar după 3…10 zile. Cauza apariției crăpăturilor la rece o constituie prezența tensiunilor interne care se formează în piesă datorită răcirii cu viteză necorespunzătoare. Prevenirea apariției crăpăturilor la rece se face supunând piesa matrițată, imediat după scoaterea din matriță, unei recoaceri izoterme;

- *fulgii*, ce constau în nişte fisuri filiforme cu lungime şi orientări diferite în secțiune transversală sau în nişte pete argintii, de formă aproximativ rotundă, în secțiune longitudinală. Apar în aceeaşi direcție cu fibrajul piesei şi micşorează substanțial caracteristicile mecanice ale secțiunii piesei;

- *loviturile,* ce constau în deteriorări ale suprafeței piesei matrițate la scoaterea greoaie din locaşul de matrițare ca urmare a neungerii sau a închiderii incorecte a matriței.

- *tensiunile interne*, care apar în timpul răcirii pieselor matrițate cu o anumită viteză de răcire. Ele sunt cu atât mai mari cu cât grosimea pieselor şi viteza de răcire sunt mai mari.

Toate aceste defecte pot fi puse uşor în evidență folosind metodele de control nedistructiv: cu radiații penetrante; cu ultrasunete; cu substanțe penetrante; cu pulberi magnetice; prin emisie acustică; în curenți turbionari; prin termografiere etc.

5.10.4.8. Procedee speciale de matrițare

Tendința actuală de economie cât mai mare de materiale şi de utilizare a unor materiale cu proprietăți deosebite implică o creştere însemnată a ponderii pieselor obținute prin matrițare cu adaosuri de prelucrare din ce în ce mai mici, (chiar pise finite importante care să nu mai necesite prelucrări prin aşchiere). De asemenea, apare necesitate obținerii unor piese matrițate de mare precizie, din materiale cu proprietăți de plasticitate scăzute şi de configurație din ce în ce mai complexă. Aceste tendințe au dezvoltat şi dezvoltă în continuare a serie de procedee de matrițare dintre care trebuie menționate:

- *matrițarea prin extrudare,* care reprezintă o combinație între matrițare şi extrudare care, prin modul cum are loc curgerea materialului în matriță, prezintă avantajele:

- se pot realiza deformații mari, deci piese cu configurație complexă în puține faze;

- se pot obține piese finite sau piese cu forme şi dimensiuni foarte apropiate de piesa finită, ceea ce reduce consumul specific de materiale şi manopară la prelucrările ulterioare prin aşchiere;

- se pot prelucra materiale cu plasticitate scăzută;

- se pot obține piese lungi, care pot fi pline sau găurite, cu o anumită configurație pe toată lungimea (din care se debitează apoi pinioane sau roți dințate).

În funcție de forma pe care o are şi de particularitățile tehnologice care apar la stabilirea fazelor de deformare, piesele matrițate prin extrudare pot fi împărțite în trei grupe (fig. 5.123):

- piese de tipul tijelor cu una sau mai multe porțiuni îngroşate (fig. 5.123.a);

- piese cu mai multe tije orientate perpendicular (fig. 5.123. b);

- piese găurite prevăzute cu o porțiune îngroşată (fig. 5.123. c).

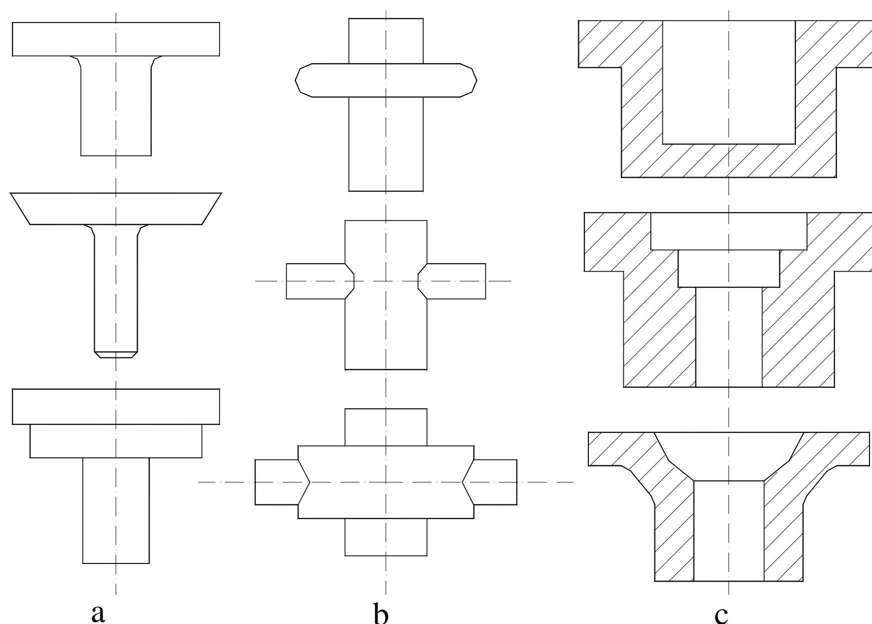


Fig. 5.123. Exemple de piese matrițate prin extrudare:
a – de tipul tijelor cu una sau mai multe porțiuni îngroşate; b – cu mai multe tije orientate perpendicular; c – găurite şi prevăzute cu o porțiune îngoşată.

Alegerea şi succesiunea fazelor de deformare sunt în funcție de complexitatea piesei, natura materialului şi fibrajul ce se vrea obținut.

De exemplu, obținerea unui ax planetar prin procedeul tehnologic de matrițare prin extrudare se prezintă în figura 5.124, unde semifabricatul inițial 1, trece succesiv prin fazele: extrudarea cozii 2, a porțiunii de legătură 3 şi a capului 4, pentru ca apoi să treacă prin locaşul pregătitor 5, locaşul prefinisor 6 şi locaşul finisor 7, rezultând piesa finită.

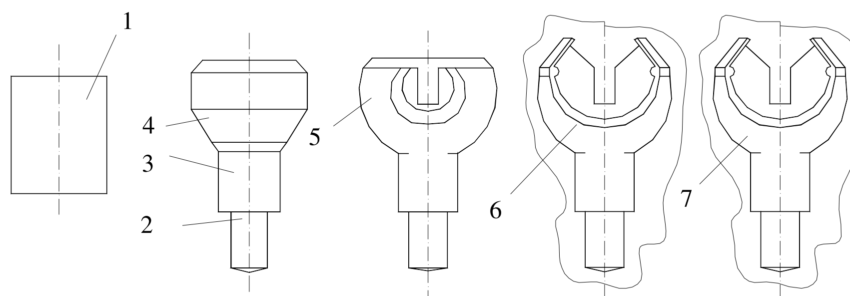


Fig. 5.124. Fazele obținerii unui ax planetar prin procedeul tehnologic de matrițare prin extrudare:
1 – semifabricatul inițial ; 2 ;3 ;4 – porțiuni extrudate ; 5, 6 şi 7 – porțiuni matrițate.

- *matrițarea materialului lichid*, care reprezintă o combinație între turnare şi matrițare. De regulă, la acest procedeu se înbină turnarea metalului sau aliajului lichid sub presiune cu matrițarea la cald. Piesele obținute prin acest procedeu prezintă câteva avantaje importante:

- au structură mai fină, deoarece cristalizarea se face sub presiune;

- rezistența la rupere, duritatea şi plasticitatea sunt mai bune cu 20…30%, datorită structurii granulare mai fine;

- au o precizie mai ridicată, compactitate mai bună şi precizie dimensională mai bună, deoarece după cristalizare suferă şi o deformare plastică;

- coeficientul de utilizare a metalului lichid este de peste 95% în comparație cu 50…70% la turnarea în cochilă sub presiune.

Schema de principiu a procedeului se prezintă în figura 5.125.

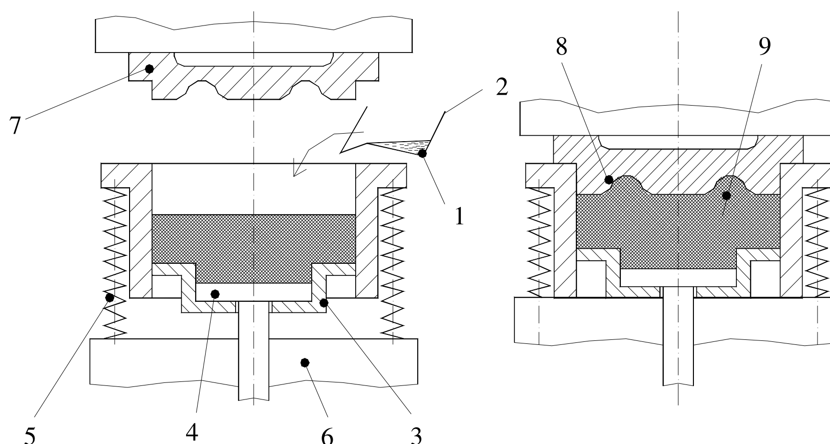


Fig. 5.125. Schema de principiu a matrițării pieselor din metal lichid:
1 – metalul lichid; 2 – creuzet; 3 – semimatrița inferioară; 4 – extractor; 5 – arcuri de compresie; 6 – suport; 7 – semimatrița superioară; 8 – locaşul de matrițare; 9 – piesa matrițată.

Metalul lichid 1, din creuzetul 2, se introduce în semimatriţa inferioară 3, prevăzută cu extractorul 4, arcurile de compresie 5 şi suportul 6. După turnarea metalului lichid, semimatriţa 7, se deplasează şi se închide cu semimatriţa inferioară formând locaşul de matriţare 8. După solidificarea metalului lichid, care se face sub presiune, începe deformarea plastică a semifabricatului, rezultând piesa matriţată 9, care va fi expulzată din semimatriţa inferioară cu ajutorul extractorului 4. Deci, matriţarea metalului lichid se compune dintr-o turnare sub presiune urmată imediat de o matriţare la cald, cumulând avantajele celor două procedee;

- *matriţarea electrohidraulică,* care foloseşte unda de şoc rezultată în urma unei descărcări electrice bruşte, într-un mediu fluid care trece în stare de plasmă. Unda de şoc are o viteză de peste 6 000m/s şi dezvoltă o presiune de peste 100daN/mm^2, suficientă pentru a deforma şi materiale cu plasticitate scăzută.

Schema de principiu a matriţării elecrohidraulice se prezintă în figura 5.126.

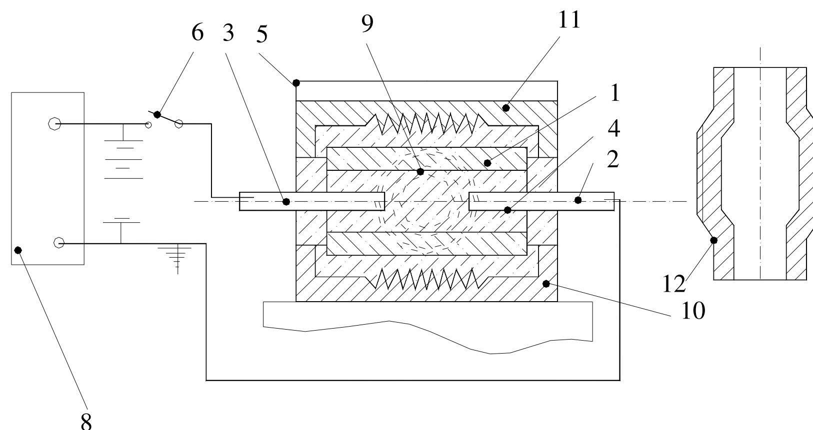


Fig. 5.126. Schema de principiu a matriţării electrohidraulice:
1 – semifabricatul iniţial; 2; 3 – electrozii de descărcare; 4 – mediul hidrostatic; 5 – rezervor;
6 – întrerupător; 7 – bateria de condensatoare; 8 – generator de înaltă tensiune; 9 – unda de şoc;
10, 11 – semimatriţa inferioară şi respectiv superioară; 12 – piesa matriţată.

Semifabricatul tubular 1, împreună cu electrozii de descărcare 2 şi 3, se introduc în mediul hidrostatic 4, aşezat în rezervorul 5. Prin acţionarea întrerupătorului 6 se pune în funcţiune circuitul de descărcare format din bateria de condesatoare 7, generatorul de înaltă tensiune 8 şi electrozii de descărcare. Se formează o undă de şoc 9, care deformează cu viteză mare materialul ce ocupă locaşul de matriţare format prin închiderea semimatriţelor 10 şi 11, rezultând piesa matriţată 12. Tensiunea de lucru este de 5 000…30 000 V, capacitatea de 1 000…6 000 μF, înstalaţia putând debita o energie de 15…100 kJ. Principalii parametrii tehnologici ai procedeului sunt: distanţa dintre electrozi, mediul hidrostatic de

propagare a undei de şoc, forma electrozilor, tensiunea de descărcare, natura materialului de deformat şi viteza de deformare;

- *matrițarea prin explozie,* care foloseşte unda de şoc creată în urma detonării unui explozibil şi transmiterea acesteia printr-un mediu lichid, solid sau gazos.

Schema de principiu a procedeului se prezintă în figura 5.127.

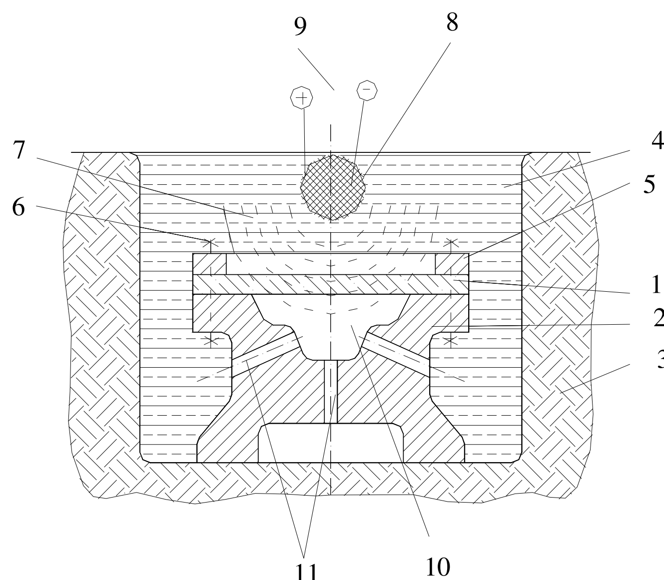


Fig. 5.127. Schema de principiu la matrițarea prin explozie:
1 – semifabricatul inițial ; 2 – matriță ; 3 – groapă ; 4 – mediul lichid; 5 – inel de fixare;
6 – dispozitiv de fixare ; 7 – unda de şoc ; 8 – explozibil ; 9 – detonator ; 10 – locaşul de matrițare;
11 – orificii de evacuare a aerului.

Semifabricatul inițial 1, sub formă de tablă laminată, se aşează pe matrița 2, fixată pe fundul unei gropi 3, plină cu mediul lichid 4. Semifabricatul este fixat pe matriță cu ajutorul inelului 5 şi a elementelor de fixare 6. Unda de şoc 7, creată prin detonarea explozibilului 8, de către detonatorul 9, deformează materialul obligându-l să umple locaşul de matrițare 10. Matrița este prevăzută cu orificiile 11 de evacuare a aerului, pentru a evita spargerea matriței. Explozivii întrebuințați pot fi *lenți,* dezvoltând presiuni de ordinul 3×10^3 bar şi viteze de deformare de 300…2 500 m/s (folosiți la piese de dimensiuni mici) şi *brizanți,* care dezvoltă presiuni de ordinul 3×10^6 bar şi viteze de deformare de 1 200…7 500 m/s (folosiți la obținerea pieselor foarte mari). Ca medii de lucru se folosesc aerul, apa (cel mai des) şi nisipul şi se aplică la operații ca bombarea, extrudarea, calibrarea, presarea pulberilor metalice şi ecruisarea;

- *matrițarea prin electrorefulare*, care foloseşte efectul caloric al curentului electric indus în semifabricatul ce urmează a fi deformat. Schema de principiu a procedeului se prezintă în figura 5.128. Semifabricatul inițial 1, al cărui capăt 2, urmează a fi refulat, se prinde în fălcile 3, ale electrodului de ghidaj 4. Semifabricatul este apăsat cu forța ***P*** către placa de refulare 5, care formează un al doilea electrod. Prin închiderea circuitului electric, porțiunea 2 a semifabricatului se încălzeşte până la temperatura de început de deformare, şi sub acțiunea forței ***P*** se deformează până la forma dorită 6. Piesa semifabricat astfel obținută este trecută imediat la matrițarea finală pe o presă, fără să mai necesite o încălzire suplimentară. Principalii parametri tehnologici ai procedeului sunt: temperatura de încălzire ; forța de refulare ; distanța inițială dintre electrozi ; viteza de deplasare a electrodului de ghidaj ; natura materialului de deformat ; configurația geometrică a piesei şi programa de producție.

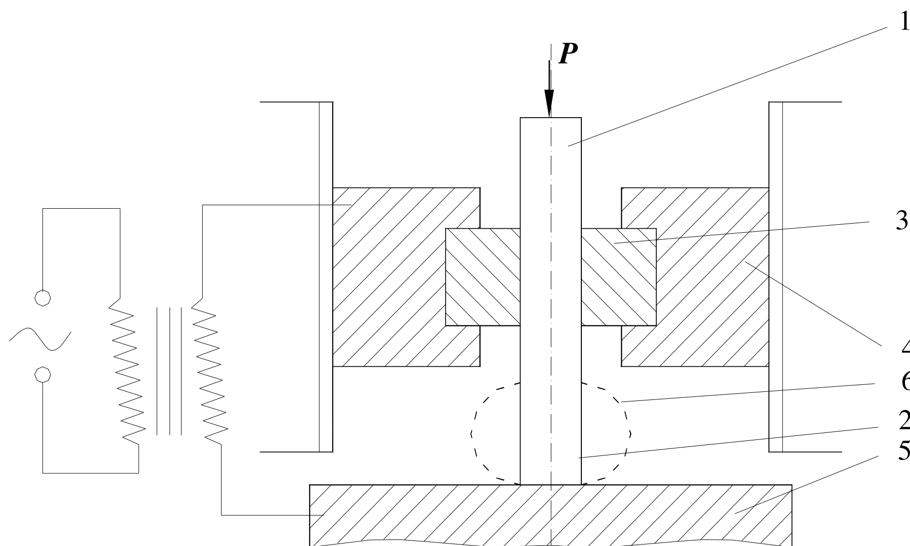


Fig. 5.128. Schema de principiu a matrițării prin electrorefulare.

Procedeul prezintă câteva avantaje deosebit de importante:

- eliminarea cuptoarelor de încălzire şi deci evitarea pierderilor prin ardere;

- calitatea suprafețelor pieselor deosebit de ridicată şi posibilitatea obținerii de piese fără defecte interioare;

- productivitatea ridicată şi eficiență sporită.

De exemplu, obținerea unei supape ce funcționează într-un motor cu ardere internă se face în două faze distincte (fig. 5.129). Semifabricatul inițial 1 este electrorefulat, rezultând piesa-semifabricat 2, care este apoi matrițată pe o presă cu şurub rezultând supapa 3.

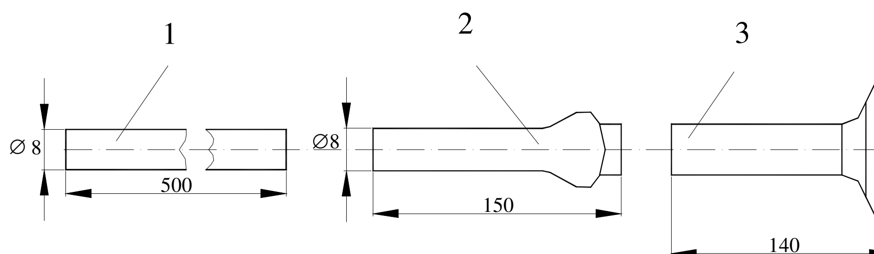


Fig. 5.129. Etapele tehnologice ale obținerii unei supape prin procedeul tehnologic de matrițare prin electrorefulare:
1 – semifabricatul inițial; 2 – piesa-semifabricat; 3 – supapa obținută prin matrițare pe presa cu şurub.

- *matrițarea orbitală*, care foloseşte mişcarea semimatriței superioare după anumite traiectorii conforme cu piesa ce se vrea realizată. Schema de pricipiu a procedeului se prezintă în figura 5.130. Semifabricatul inițial 1 se aşează în semimatrița inferioară 2 şi cu ajutorul semimatriței superioare 3 (matrița activă),

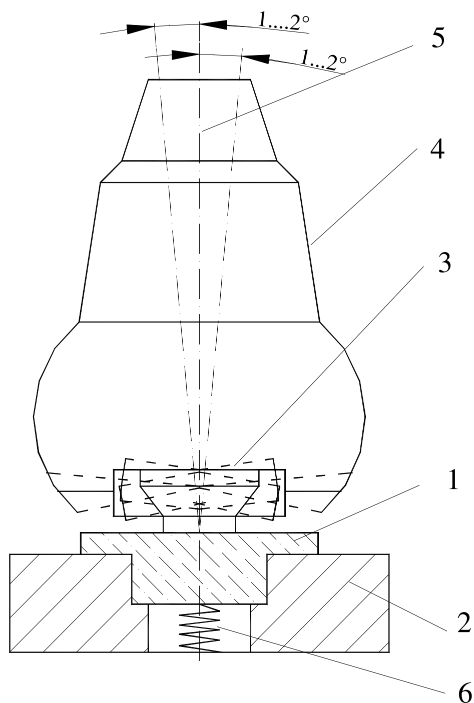


Fig. 5.130. Schema de principiu la matrițarea orbitală:
1 – semifabricatul inițial; 2 – semimatrița inferioară; 3 – semimatrița superioară; 4 – berbecul rotitor; 5 – axa de rotație; 6 – extractor.

fixată pe berbecul 4, se deformează la partea superioară. Berbecul se roteşte după o axă de rotație 5, care se înclină 1…2°. Traiectoria posibilă a semimatriței superioare poate fi orbitală, planetară sau în linie dreaptă. Piesa rezultată este expulzată din semimatrița inferioară cu ajutorul unui extractor 6.

Avantajele procedeului sunt următoarele :

- precizia ridicată a piesei ;
- calitatea superioară a suprafețelor ;
- creşterea rezistenței la oboseală ;
- posibilitatea deformării unor secțiuni subțiri ;
- lipsă de zgomot ;
- economie de energie.

Procedeul se aplică la realizarea unor piese complicate cu danturi frontale sau a pieselor cu porțiuni subțiri în raport cu diametrul ;

- *matrițarea în câmpuri magnetice impulsive,* care foloseşte principiul descărcării instantanee a unei baterii de condensatoare într-un inductor în care se creează un câmp magnetic (impuls) de înaltă tensiune. Schema de principiu a procedeului se prezintă în figura 5.131. Semifabricatul inițial 1 se introduce în

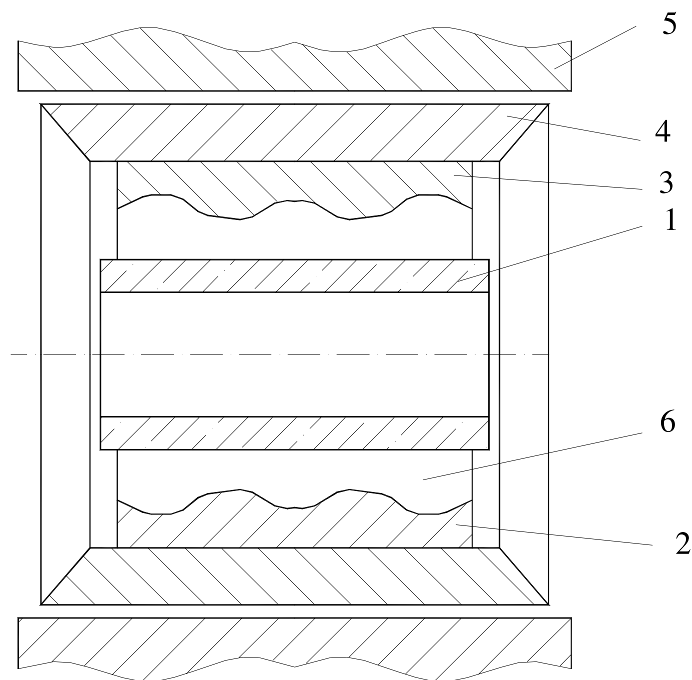


Fig. 5.131. Schema de principiu la matrițarea în câmpuri magnetice impulsive:
1 – semifabricat; 2 şi 3 – semimatrița inferioară şi respectiv superioară; 4 – concentrator de câmp; 5 – inductor; 6 – locaşul de matrițare.

interiorul semimatrițelor 2 şi 3 aflate în concentratorul de câmp 4. Descărcarea bateriei de condensatoare se face în inductorul 5, creându-se un câmp magnetic de înaltă tensiune. Acest câmp induce un curent de sens opus în semifabricatul 1, obligându-l să se deformeze instantaneu 6. Impulsul durează 10…20μs şi creează o presiune de până la $3{,}5\times10^3$ bar.

Parametrii procesului tehnologic sunt: natura materialului de deformat; configurația geometrică a piesei; tensiunea de lucru; capacitatea bateriei de condensatoare; durata impulsului şi viteza de deformare.

Procedeul se aplică la matrițarea pieselor cu pereți subțiri sau la asamblarea nedemontabilă a unor piese diferite prin deformarea instantanee a zonelor de îmbinare corespunzător ;

- *matrițarea în câmp ultrasonic*, care foloseşte efectele rezultate ca urmare a propagării undelor ultrasonore prin solide şi anume: *efectul de suprafață,* ce constă în micşorarea substanțială a forțelor de frecare cu până la 70% şi *efectul de volum,* ce conduce la creşterea plasticității cu 20…60% şi reducerea cu 40…80% a forțelor necesare deformării. Eficacitatea suprapunerii energiei ultrasonore peste

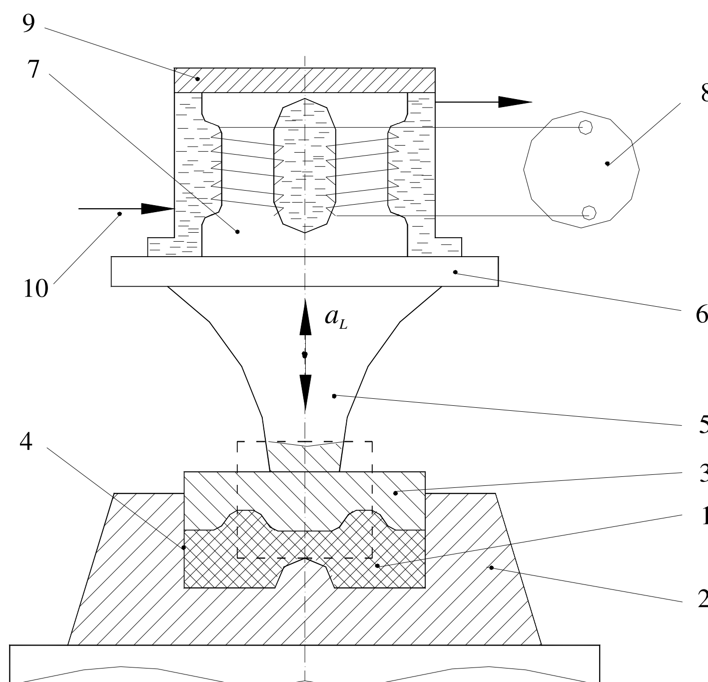


Fig. 5. 132. Schema de principiu a matrițării în câmp ultrasonic:
1 – semifabricatul inițial; 2; 3 – semimatrița inferioară şi respectiv semimatrița superioară; 4 – locaşul de matrițare; 5 - concentratorul de energie ultrasonoră; 6 – flanşa nodală; 7 – transductorul ultrasonor; 8 – generatorul de înaltă frecvență; 9 – izolant acustic; 10 – sistemul de răcire.

energia de deformare depinde în primul rând de modul de introducere a ultrasunetelor, în focarul de deformare existând următoarele variante: *activarea ultrasonică a semifabricatului inițial; activarea ultrasonică a semimatriței inferioare, a semimatriței superioare sau a ambelor.* Schema de principiu a matrițării în câmp ultrasonor cu activarea ultrasonică a semimatriței superioare se prezintă în figura 5.132.

Semifabricatul inițial 1 se așează pe semimatrița inferioară 2, fiind deformat cu ajutorul semimatriței superioare 3 și obligat să umple locașul de matritare 4. Semimatrița superioară este activată ultrasonic prin intermediul concentratorului de energie ultrasonoră 5, care este legat de traductorul ultrasonor 7, prin intermediul flanșei nodale 6.

Traductorul ultrasonor convertește oscilațiile electrice ale generatorului de înaltă frecvență 8, în oscilații mecanice cu frecvență ultrasonoră. Traductorul ultrasonor este izolat acustic 9 și răcit în permanență 10. Semimatrița superioară vibrează cu o frecvență de 18…32kHz și amplitudini a_L = 5…120 μm, putându-se obține piese de înaltă precizie dimensională, cu o calitate a suprafețelor deosebită, din materiale cu plasticitate foarte scăzută.

Este de așteptat, ca pe măsura diversificării materialelor cu proprietăți cu totul deosebite, să apară și alte procedee de matrițare care să răspundă tendințelor mereu crescânde privind obținerea directă de piese finite prin matrițare, fără prelucrări ulterioare prin așchiere.

5.11. OBȚINEREA PIESELOR DIN TABLE

5.11.1. Generalități

Tablele sunt corpuri geometrice la care una din dimensiuni (respectiv grosimea *s*) *este mult mai mică în comparație cu celelalte.*

Prin înlocuirea pieselor turnate sau forjate cu piese obținute din table se realizează următoarele avantaje:

- reducerea greutății pieselor cu 25...50%;
- reducerea consumurilor de materiale cu 20...80%;
- reducerea volumului de muncă și a cheltuielilor cu manopera cu 50...80%;
- obținerea de piese simple sau complexe imposibil de obținut prin celelalte procedee (turnare, forjare, așchiere etc.);
- posibilitatea unei ușoare mecanizări și automatizări;
- productivitatea ridicată.

Piesele confecționate din tablă au o largă utilizare în industria constructoare de automobile și tractoare, industria electrotehnică și electronică,

industria aviatică şi constructoare de nave maritime şi fluviale, industria bunurilor de larg consum şi constructoare de maşini agricole precum şi în alte domenii ale economiei.

Ca semifabricate inițiale se folosesc *tablele*, *benzile* şi *platbenzile* de grosimi diferite, distingându-se următoarele categorii de prelucrări:

- prelucrarea tablelor groase, când grosimea $s \geq 4{,}0$ mm;
- prelucrarea tablelor subțiri, când grosimea $0{,}15 \leq s < 4{,}0$ mm;
- prelucrarea foliilor, când grosimea $s < 0{,}15$ mm.

În general prelucrarea tablelor subțiri şi a foliilor se face *la rece*, iar prelucrarea tablelor groase se face *la cald*. Principalele procedee de prelucrare a tablelor în funcție de caracterul general al operațiilor se prezintă în figura 5.133.

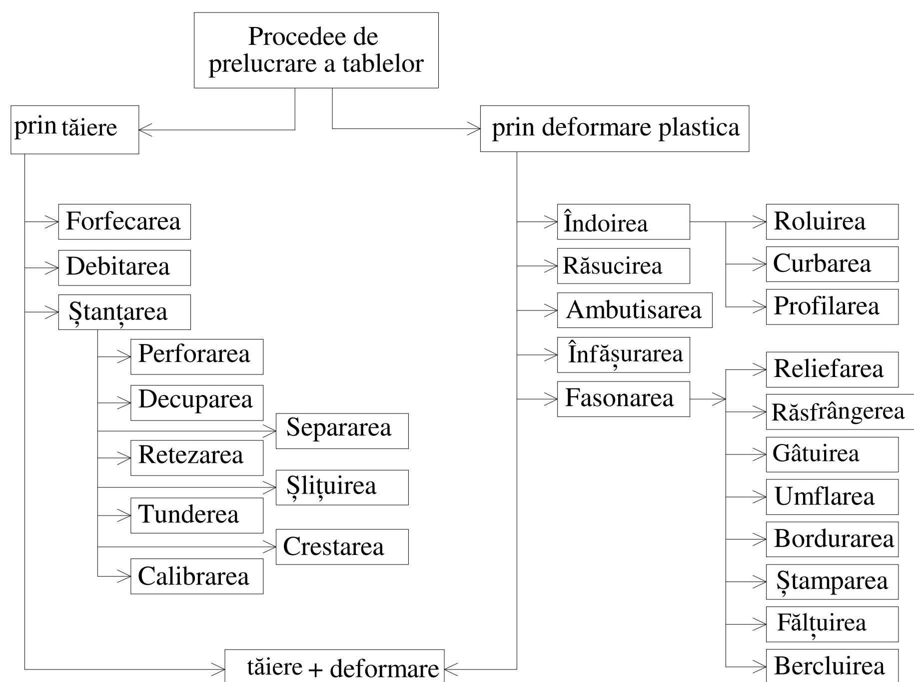


Fig. 5. 133. Principalele procedee de prelucrare a tablelor.

5.11.2. Procedee tehnologice de prelucrare a tablelor prin tăiere

Aceste procedee constau în separarea totală sau parțială a unei părți din semifabricatul inițial supus prelucrării. Porțiunea separată poate fi o piesă finită sau un deşeu, de forme şi dimensiuni corespunzătoare cu scopul propus.

Principalele procedee de prelucrare prin tăiere sunt *forfecarea* şi *ştanțarea*.

5.11.2.1. Forfecarea

Forfecarea este procedeul tehnologic de tăiere a unui semifabricat după un contur deschis, drept sau curb, cu ajutorul a două tăişuri asociate aflate într-o mişcare relativă.

Schema de principiu a procedeului se prezintă în figura 5.134. Semifabricatul 1 se introduce între tăişurile cuţitelor 2 şi 3, în urma acţiunii forţei de forfecare P_f, rezultând porţiunea separtă 4. Procesul de tăiere decurge în trei faze caracteristice:

- faza elastică, în care tensiunile din material nu depăşesc limita de curgere;
- faza plastică, în care tensiunile din material depăşesc limita de curgere;
- faza de rupere, când tensiunile din material depăşesc limita de curgere a materialului şi se formează microfisuri şi apoi macrofisuri, rezultând separarea în părţi distincte.

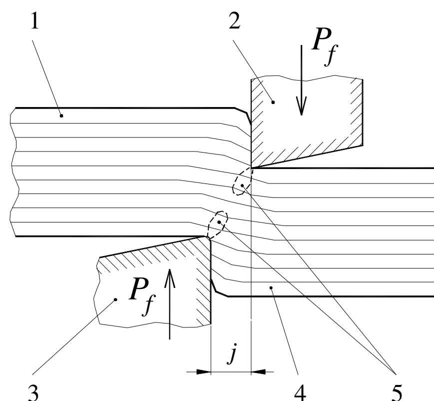


Fig. 5.134. Schema de principiu a tăierii prin forfecare:
1 – semifabricat iniţial; 2; 3 – tăişuri asociate; 4 – porţiune separată; 5 - macrofisuri; *j* – jocul dintre muchiile cuţitelor.

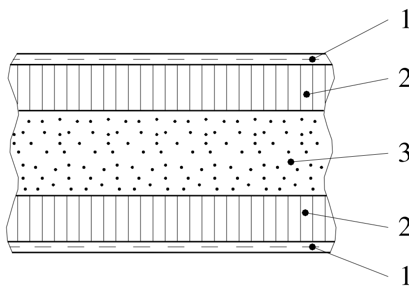


Fig. 5.135. Zonele care apar la forfecare:
1 – zone de deformaţii locale; 2 – zone de alunecare; 3 – zonă grăunţoasă.

La o tăietură obținută prin forfecare se disting următoarele zone caracteristice (fig. 5.135): două zone înguste 1, cu deformații locale cu aspect lucios şi neted; două zone lucioase 2, datorită frecării dintre tăişuri şi material şi o zonă grăunțoasă 3, datorită forfecării bruşte a materialului.

În general, tăierea prin forfecare este o operație pregătitoare şi se poate executa manual, cu foarfeca de mână sau de banc, cu foarfece cu lame paralele, cu foarfece cu lame înclinate, cu foarfece cu două discuri, cu foarfece cu cuțit vibrator, cu foarfece cu mai multe discuri etc.

Tăierea prin forfecare cu *foarfecele cu lame paralele* (fig. 5.136) se foloseşte pentru table cu grosimea mai mică de 20 mm şi lățimea variabilă. Semifabricatul 1, de grosime s şi lățime L, se aşează pe cuțitul fix 2 prins pe masa 3 a foarfecii. Forța de forfecare P_f se aplică cu ajutorul cuțitului mobil 4, prins de culisoul presei 5, ce funcționează între ghidajele 6. Din cauza zonei mari de contact dintre lama cuțitului şi material, forța de tăiere creşte brusc de la zero la o valoare maximă, scăzând din nou la zero, ceea ce produce un şoc puternic, zgomote şi trepidații.

Forța de forfecare P_f se calculează cu relația:

$$P_f = k \cdot L \cdot s \cdot \tau, \tag{5.209}$$

în care: k = 1,1,....1,30, în funcție de uzura muchiei tăietoare şi grosimea materialului; τ – rezistența la forfecare a materialului.

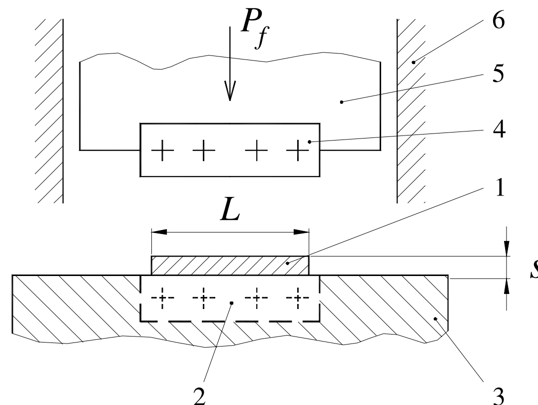


Fig. 5.136. Schema de principiu a forfecării pe foarfece cu lame paralele:
1 – semifabricat; 2 – cuțitul fix; 3 – masa foarfecii; 4 – cuțitul mobil; 5 – culisoul presei; 6 – ghidaje.

Tăierea prin forfecare cu *foarfecele cu lame înclinate* numite şi *ghilotine* (fig. 5.137) se foloseşte pentru table cu grosimea $s \leq 40$ mm. Cuțitul mobil 4 are tăişul înclinat cu unghiul α = 2...6º, micşorându-se foarte mult forța de tăiere şi crescând grosimea tablelor ce se poate tăia. Se înlătură şocurile şi vibrațiile,

deoarece tăişul vine treptat în contact cu materialul de tăiat. Forța de forfecare P_f se calculează cu relația:

$$P_f = \frac{1}{2} \cdot \frac{s^2}{\mathrm{tg}\alpha} \cdot \tau, \qquad (5.210)$$

în care: s este grosimea tablei; τ- rezistența la forfecare.

Tăierea prin forfecare cu *foarfecele cu discuri cu axele paralele* (fig.138) se foloseşte pentru obținerea din foi de tablă a semifabricatelor rotunde sau cu contururi curbe şi a benzilor, când grosimea pieselor nu depăşeşte 30 mm.

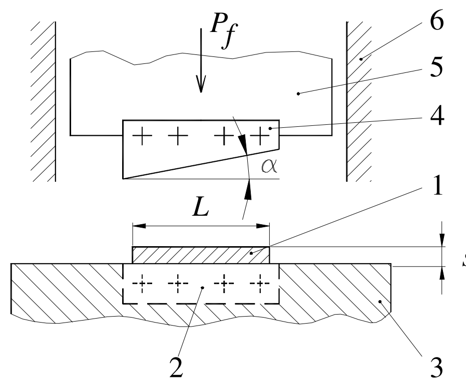


Fig. 5.137. Schema de principiu a forfecării pe foarfece cu lame înclinate: 1 - semifabricat; 2 – cuțit fix; 3 – masa foarfecii; 4 – cuțitul mobil cu tăişul înclinat; 5 – culisoul presei; 6 – ghidaje.

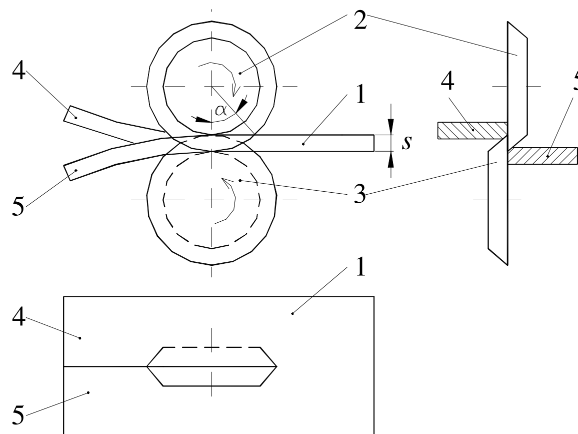


Fig. 5. 138. Schema de principiu a forfecării pe foarfece cu discuri cu axele paralele: 1 - semifabricat; 2; 3 – discuri cu axele paralele; 4; 5 – porțiuni separate din semifabricat.

Grosimea tablelor tăiate poate fi mai mare dacă se înclină unul din discuri sau ambele.

Forța de forfecare P_f se calculează cu relația:

$$P_f = \frac{1}{2} \cdot \frac{h_p \cdot s \cdot \tau}{\mathrm{tg}\alpha} \ , \tag{5.211}$$

în care: h_p este adâncimea de pătrundere a cuțitelor în momentul forfecării.

Tăierea prin forfecare cu *foarfecele cu mai multe discuri* (fig.139) se folosește pentru obținerea simultană a mai multor benzi din table și pentru tăierea în lățime a platbandelor și benzilor, în cazul când grosimea tablelor nu depășește 10 mm. Semifabricatul 1, de grosime *s*, se introduce între discurile 2, 3 și 4, 5, ce se rotesc în sensuri contrarii, fiind forfecat în porțiunile separate 6 și 7.

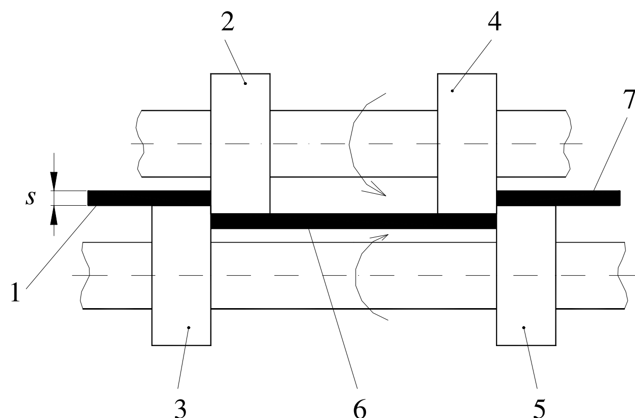


Fig. 5. 139. Schema de principiu a forfecării pe foarfece cu mai multe discuri :
1 – semifabricatul inițial; 2; 3; 4; 5 cuțite disc; 6, 7 – porțiuni separate (benzi; platbenzi).

Tăierea prin forfecare cu *foarfecele cu cuțit vibrator* (fig.140) se folosește la tăierea tablelor după un contur oarecare, trasat în prealabil sau urmărit după un șablon. Semifabricatul se așează pe cuțitul fix 1 fiind tăiat de cuțitul mobil 2, fixat pe capul 3 și acționat de un mecanism cu excentric. Cuțitul mobil execută o mișcare vibratorie cu o cursă de 2...4 mm și frecvența de 2 000...25 000 curse duble/minut. Pentru tăiere se pot folosi două scheme posibile: foarfeca montată pe un suport fix, iar tabla deplasându-se în fața cuțitelor după conturul dorit, sau tabla fixă, deplasându-se foarfecele după conturul de tăiat. Se pot tăia table cu grosimea de până la 10 mm, forța de forfecare P_f calculându-se cu relația:

$$P_f = \frac{1}{2} \cdot \frac{s^2 \cdot \tau}{\mathrm{tg}\beta} \ , \tag{5.212}$$

în care: β = 6....7° este unghiul de degajare; *s* – grosimea tablei; τ – rezistența la forfecare.

Precizia tăierii cu foarfece este influențată de: metoda de tăiere şi tipul foarfecei, grosimea materialului; configurația geometrică a piesei; starea muchiilor tăietoare a cuțitelor; prezența fixării tablei; forța de fixare şi modul de reglare a limitatoarelor.

Forța P_f, necesară tăierii, depinde de mărimea secțiunii de tăiere, de rezistența la forfecare a materialului şi de condițiile de tăiere (tipul cuțitelor, uzura tăişurilor, neuniformitatea materialului etc.). Atunci când forța necesară forfecării este mică, iar utilajul existent dispune de o putere mult mai mare, se poate practica *forfecarea în pachet* (tablele aşezate unele peste altele).

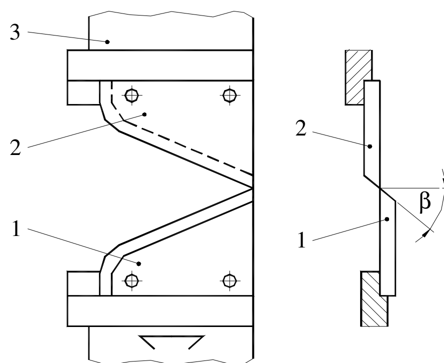


Fig. 5. 140. Schema de principiu a forfecării pe foarfecele cu cuțit vibrator:
1 – cuțit fix; 2 – cuțit mobil; 3 - cap de lucru.

Procesul tehnologic de tăiere prin forfecare cuprinde următoarele etape principale:

1. Pregătirea semifabricatului în vederea forfecării – care constă în curățirea, degresarea şi decaparea suprafețelor ce urmează a veni în contact cu tăişurile cuțitelor;

2. Trasarea semifabricatului – care constă în marcarea traseului ce trebuie urmărit de cuțitele foarfecelor;

3. Controlul inițial – în vederea depistării eventualelor defecte interioare. Se face un control nedistructiv folosind controlul cu radiații penetrante, cu ultrasunete, cu substanțe penetrante, cu pulberi magnetice, prin emisie acustică, prin termografie etc;

4. Tratamentul termic inițial (dacă este cazul) – în vederea îmbunătățirii proprietăților de plasticitate. De regulă, se face o recoacere de înmuiere;

5. Determinarea forței de tăiere – care se face funcție de grosimea tablei de tăiat, configurația geometrică a piesei, natura materialului de tăiat şi schema de tăiere;

6. Alegerea utilajului de forfecare – în funcţie de forţa necesară la tăiere, de metoda de tăiere, productivitate, configuraţia geometrică a piesei şi precizia geometrică dorită;

7. Încălzirea semifabricatului (dacă este cazul) – care se aplică în general la forfecarea tablelor groase;

8. Forfecarea propriu-zisă – care se face manual, mecanizat sau automatizat, în funcţie de utilajul ales şi productivitatea cerută;

9. Îndepărtarea gradului de pe suprafaţa de separare – prin polizare sau o altă metodă ce foloseşte scule abrazive;

10. Tratamentul termic final (dacă este cazul) – în funcţie de destinaţia ulterioară a porţiunilor separate;

11. Controlul final – reprezentat de un control dimensional;

12. Ambalarea şi trimiterea către beneficiar – în funcţie de prelucrările ulterioare la care sunt supuse porţiunile separate prin forfecare.

5.11.2.2. Ştanţarea

Ştanţarea este procedeul tehnologic de prelucrare prin tăiere a tablelor ce constă în tăierea după un contur închis şi separarea completă a unor porţiuni din semifabricat.

Schema de principiu a procedeului se prezintă în figura 5.141. Semifabricatul iniţial 1, de grosime *s* (bandă sau platbandă), se aşează pe placa de tăiere 2, prevăzută cu muchii tăietoare pe conturul interior şi cu ajutorul poansonului 3, prevăzut tot cu muchii tăietoare pe conturul exterior, acţionat de

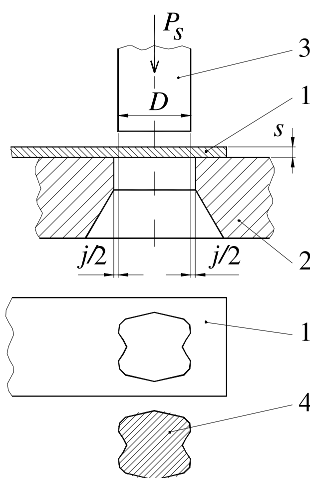


Fig. 5. 141. Schema de principiu a operaţiei de ştanţare:
1 – semifabricatul iniţial; 2 – placa de tăiere; 3 – poansonul; 4 – porţiunea separată; *j* – jocul dintre poanson şi placa activă.

forța P_s se separă porțiunea 4, care poate fi deşeu sau piesă finită. Procedeul se execută cu ajutorul unei scule numită ştanță, sculă ce are cel puțin două elemente active (poansonul şi placa activă) cu conturul corespunzător piesei ce se vrea obținută. Ştanța este acționată de o presă, unul din elementele active fiind mobil (poansonul), iar celălalt fiind fix (placa de tăiere).

Prin ştanțare se execută diverse operații de tăiere, cele mai des utilizate fiind următoarele:

- *decuparea* (fig. 5. 142. a) – operația de tăiere, după un contur închis, cu separarea completă a piesei din semifabricatul bandă;

- *perforarea* (fig. 5. 142. b) – operația de tăiere, după un contur închis, cu separarea completă a deşeului de piesa finită.

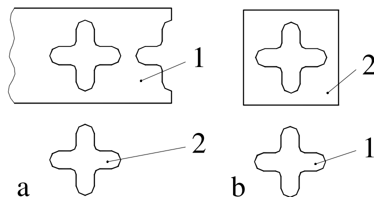


Fig. 5. 142. Schema de principiu la:
a – decupare; b – perforare : 1 – deşeul; 2 – piesa ştanțată.

Decuparea sau perforarea se execută cu o sculă numită *ştanță de decupat* sau *perforat*. La aceste ştanțe, între elementele active există un joc j = (0,05...0,1)s, care are o foarte mare importanță tehnologică, atât în ceea ce priveşte calitatea suprafețelor, consumul de energie, cât şi în ceea ce priveşte durabilitatea ştanțelor;

- *retezarea* (fig. 5. 143) este operația de tăiere după un contur deschis, cu separarea completă a semifabricatului în părți distincte. Semifabricatul inițial 1, tip

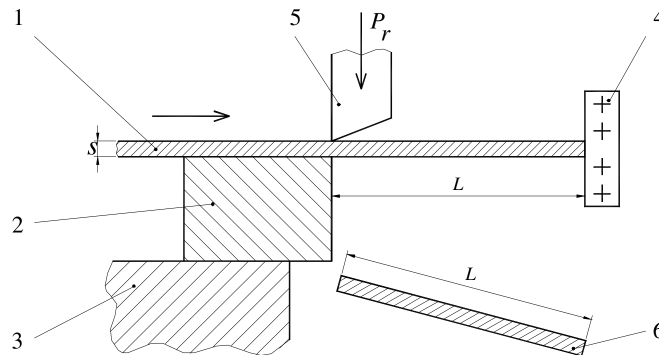


Fig. 5.143. Schema de principiu a retezării:
1 - semifabricatul inițial; 2 – placa de tăiere; 3 – masa presei; 4 – opritor; 5 – cuțitul mobil; 6 - porțiunea separată;

bandă sau platbandă, avansează pe placa de tăiere 2, fixă pe masa 3 a presei, până în dreptul opritorului 4, şi cu ajutorul cuțitului mobil 5 se realizează separarea completă a porțiunii 6 de lungime *L*. Operația de retezare se execută cu *ştanțe de retezat*.

- *şlițuirea* (fig. 5. 144) este operația de tăiere după un contur deschis, cu separarea completă a unor părți din semifabricat sub formă de deşeuri;

- *tunderea* (fig. 5. 145) este operația de tăiere după un contur închis, a marginilor neuniforme ale unor piese obținute în prealabil, printr-un procedeu de prelucrare prin deformare plastică numit ambutisare. Operația se execută cu o sculă numită *ştanță de tundere*;

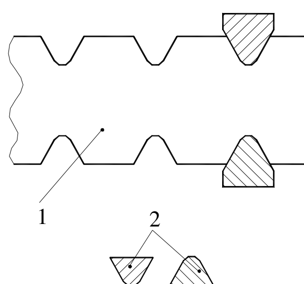


Fig. 5. 144. Schema de principiu a operației de şlițuire:
1 – piesă; 2 – deşeuri.

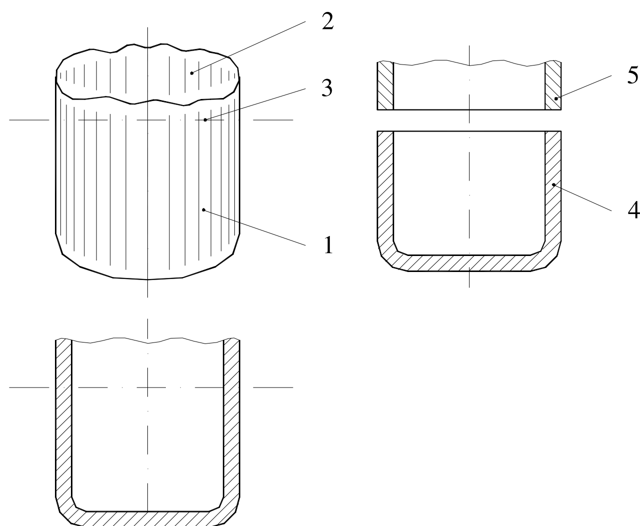


Fig. 5. 145. Schema de principiu a operației de tundere:
1 – semifabricatul inițial; 2 – porțiuni încrețite; 3 – plan de separare; 4 – piesa finită; 5 – deşeul.

- *calibrarea prin tăiere* (fig. 5. 146) este operaţia de separare prin tăiere, după conturul corespunzător, a plusului de material de pe suprafeţele laterale, rămas după operaţia de decupare sau perforare. Operaţia se execută în vederea îmbunătăţirii gradului de netezime al suprafeţelor sau pentru a obţine o perpendicularitate precisă. Calibrarea se poate face pe contur exterior (fig. 5.146.a) sau pe contur interior (fig. 5.146. b).

La piesele de grosime mică se execută, de regulă, o singură operaţie de calibrare, în timp ce, la piesele de grosime mare se execută două operaţii de calibrare. Operaţia permite obţinerea unei rugozităţi foarte bune (R_a = =0,63...1,25μm) şi a unei precizii dimensionale ridicate (calităţile 4....7 conform ISO).

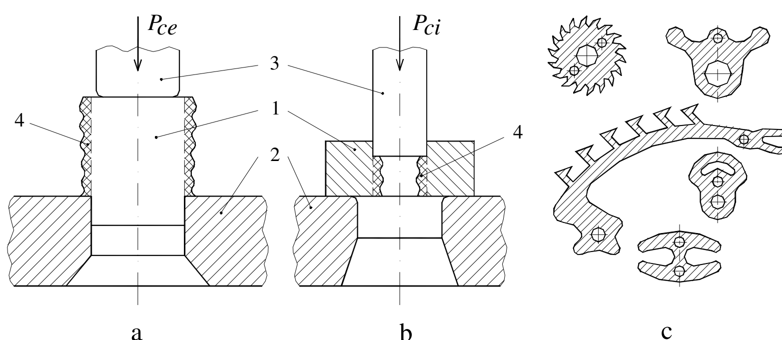


Fig. 5. 146. Schema de principiu a operaţiei de calibrare:
a – pe contur exterior; b – pe contur interior; c – piese de mecanică fină calibrate prin tăiere: 1 – piesa obţinută prin decupare sau perforare ; 2- placa de tăiere (a) sau de aşezare (b); 3 – poanson de apăsare (a) sau de tăiere (b); 4 – plusul de material (adaosul de prelucrare).

Procesul tehnologic de ştanţare cuprinde următoarele etape principale:

1. Pregătirea semifabricatului în vederea ştanţării – ce constă în curăţirea, degresarea şi decaparea tuturor suprafeţelor ce vin în contact cu elementele active ale sculei;

2. Controlul iniţial – în vederea depistării eventualelor defecte interioare. Se face un control nedistructiv folosind controlul cu ultrasunete, cu radiaţii penetrante, cu lichide penetrante, cu pulberi magnetice, prin emisie acustică, prin analiză termografică etc.;

3. Tratamentul termic iniţial (dacă este cazul) – cu scopul îmbunătăţirii proprietăţilor de plasticitate. Se aplică de regulă recoacerea de înmuiere;

4. Croirea economică – care constă în amplasarea judicioasă pe semifabricat a pieselor cu forme tehnologice determinate de rolul funcţional, astfel încât să rezulte o cantitate minimă de deşeuri. Varianta de croire este determinată de forma piesei, care trebuie aleasă în aşa fel încât pierderea de material prin deşeuri să fie cât mai mică, şi de calitatea, starea şi grosimea materialului. Depinde,

de asemenea, şi de modul de obținere al semifabricatului (direcția de laminare – croire longitudinală, transversală şi combinată). Se va alege întotdeauna varianta de croire care conduce la un coeficient η_u, de utilizare a materialului, maxim. Acest coeficient se calculează cu relația :

$$\eta_u = \frac{S_u}{S_o} \cdot 100 \quad [\%] \ , \tag{5.213}$$

în care: S_o este suprafața inițială a semifabricatului; S_u – suprafața utilă a pieselor obținute dintr-un semifabricat (foaie de tablă sau bandă).

Datorită formei foarte variate a pieselor care se ştanțează prin operații succesive, pentru fiecare piesă va fi economică o anumită variantă de croire.

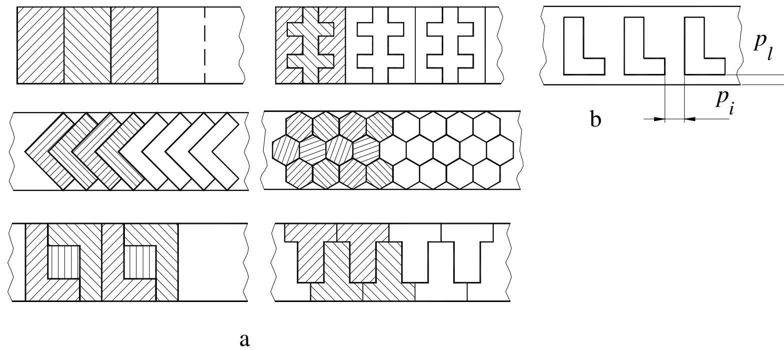


Fig. 5. 147. Variante de croire:
a - fără puntițe; b – cu puntițe laterale (p_l) sau intermediare (p_i).

Câteva variante de croire din bandă se prezintă în figura 5.147. Pentru a micşora bavurile în urma tăierii, precum şi deformarea semifabricatului, când se impun condiții de precizie şi calitate a suprafeței conturului, este recomandată *croirea cu puntițe*. Puntițele constituie prin mărimea lor o sursă importantă de pierderi de material, de aceea trebuie strict dimensionate, să aibă o rezistență minimă şi o rigiditate corespunzătoare. Mărimea puntițelor depinde de grosimea şi duritatea materialului, de dimensiunile şi forma pieselor, de varianta de croire, de metoda de avans a benzii, de construcția sculei folosite la ştanțare etc.

Puntițele se prevăd între piesele decupate şi se numesc *puntițe intermediare* (p_i) şi între conturul pieselor decupate şi marginea benzii, numite *puntițe laterale* (p_l);

5. Calculul forței de ştanțare P_s – în funcție de natura materialului, grosimea semifabricatului inițial, conturul geometric al pieselor şi schema de ştanțare. Se utilizează relația:

$$P_s = k \cdot L_c \cdot \tau \ , \tag{5.214}$$

în care: k = 1,15...1,30 în funcţie de uzura muchiilor tăietoare ale părţilor active ale ştanţei; L_c – lungimea conturului piesei; τ - rezistenţa la forfecare a materialului;

6. Alegerea semifabricatului iniţial – cunoscând dimensiunile piesei, dispunerea pieselor pe bandă, mărimea puntiţelor, precum şi precizia la lăţime a benzilor în funcţie de procesul de tăiere al lor din table;

7. Stabilirea felului, numărului şi succesiunii operaţiilor – în funcţie de configuraţia geometrică a piesei, precizia geometrică cerută şi programa de producţie;

8. Stabilirea operaţiilor şi numărului de piese care se execută simultan – în funcţie configuraţia geometrică a piesei, varianta de croire aleasă şi programa de producţie;

9. Stabilirea schemei tehnologice de lucru – ţinând cont de rezultatele obţinute la punctele 6...9;

10. Alegerea sculelor şi utilajului pe care se execută ştanţarea – în funcţie de schema tehnologică aleasă, forma semifabricatului iniţial, forţa necesară ştanţării şi productivitatea dorită. Stabilirea corectă a dimensiunilor părţilor active ale poansonului şi plăcilor de tăiere ale ştanţelor, respectiv a valorilor şi dispunerii câmpurilor de toleranţă ale acestor dimensiuni (în consecinţă şi jocul dintre poanson şi orificiul plăcii de tăiere) are o deosebită importanţă, deoarece influenţează precizia dimensională obţinută, rugozitatea suprafeţelor, defectele suprafeţei tăieturii, efortul necesar tăierii şi durabilitatea ştanţei. Ca utilaj de lucru se aleg presele (mai ales presele cu excentric) şi maşinile speciale ;

11. Încălzirea semifabricatului (dacă este cazul) – în special la ştanţarea tablelor groase;

12. Ştanţarea propriu-zisă – respectând schema tehnologică aleasă, manual, mecanizat sau automatizat, în funcţie de utilajul folosit şi programa de producţie;

13. Curăţirea prin ştanţare – în scopul creşterii preciziei dimensionale, obţinerii unei rugozităţi foarte bune şi a unor suprafeţe perpendiculare. Se face utilizând calibrarea prin tăiere pe ştanţe de calibrare pe contur exterior şi pe contur interior;

14. Tratamentul termic final (dacă este cazul) – în funcţie de destinaţia ulterioară a piesei;

15. Controlul final – un control dimensional pentru a vedea încadrarea în câmpurile de toleranţă prescrise pe desenul piesei;

16. Ambalarea şi trimiterea către beneficiar – în funcţie de prelucrările ulterioare la care se supune sau nu piesa.

5.11.3. Procedee tehnologice de prelucrare a tablelor prin deformare plastică

Procedeele tehnologice de prelucrare prin deformare plastică a tablelor au ca rezultat deplasarea unor părţi ale semifabricatului în raport cu celelalte părţi,

fără distrugerea acestuia şi fără eliminare de material.

5.11.3.1. Îndoirea

Îndoirea este procedeul tehnologic de prelucrare prin deformare ce constă în modificarea formei unui semifabricat prin încovoiere plană în jurul unei muchii rectilinii.

Schema de principiu a procedeului se prezintă în figura 5.148. Semifabricatul inițial 1, de grosime *s*, se aşează pe matrița de îndoit 2, prevăzută cu raza de racordare r_m, şi cu ajutorul poansonului 3, prevăzut tot cu rază de racordare r_p, este deformat rezultând produsul 4.

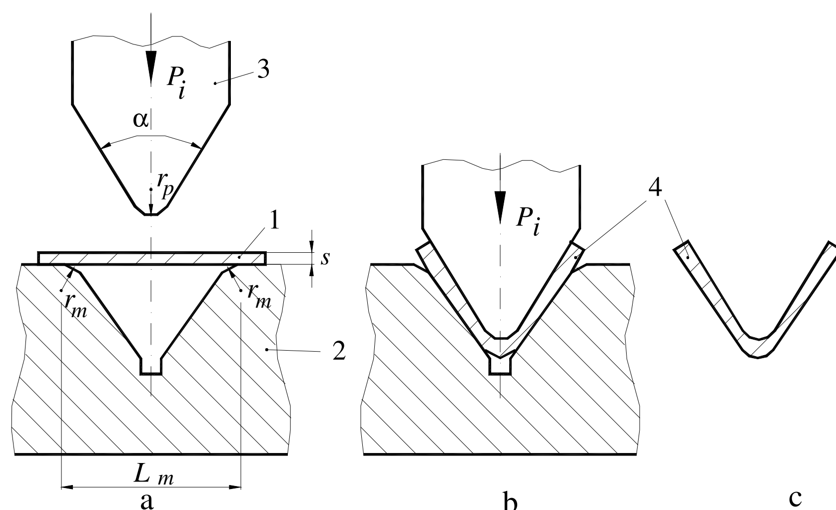


Fig. 5.148. Schema de principiu la îndoirea tablelor:
a - faza inițială; b - faza finală; c - produsul obținut: 1- semifabricatul inițial; 2- matrița de îndoit; 3 – poansonul; 4 – produsul obținut prin indoire.

Deformarea se realizează cu ajutorul unor scule profilate, ce au părțile active construite în funcție de profilul îndoit ce trebuie realizat. În funcție de configurația sculelor se pot obține profile îndoite din cele mai diferite (fig. 5.149), întrebuințate în construcția de maşini (stative, corpuri metalice, rezervoare, dulapuri, şasiuri de automobile etc.), în industria construcțiilor (mobilier metalic, tâmplărie metalică, cofraje metalice etc.), electrotehnică, electronică, în industria constructoare de avioane, a bunurilor de larg consum etc.

În timpul deformării semifabricatului (fig. 5.150) sub acțiunea forței exterioare, în materialul supus deformării apar eforturi de întindere σ_i la exterior şi eforturi de compresiune σ_{co} la interior. Din această cauză secțiunea inițială a semifabricatului S_o se modifică în sensul subțierii spre exterior şi îngroşării spre

interior, devenind S_f. Între cele două zone supuse la solicitări opuse apare un strat neutru, în care eforturile sunt nule. Poziția stratului neutru se poate stabili din condiția de echilibru, dar practic se consideră că:

- pentru *îndoiri slabe* ($r > 10\ s$), deformările sunt mici, iar stratul neutru se menține la mijlocul secțiunii, raza de curbură ρ, determinându-se cu relația:

$$\rho = r + \frac{s}{2} \quad [\text{mm}] \ ; \qquad (5.215)$$

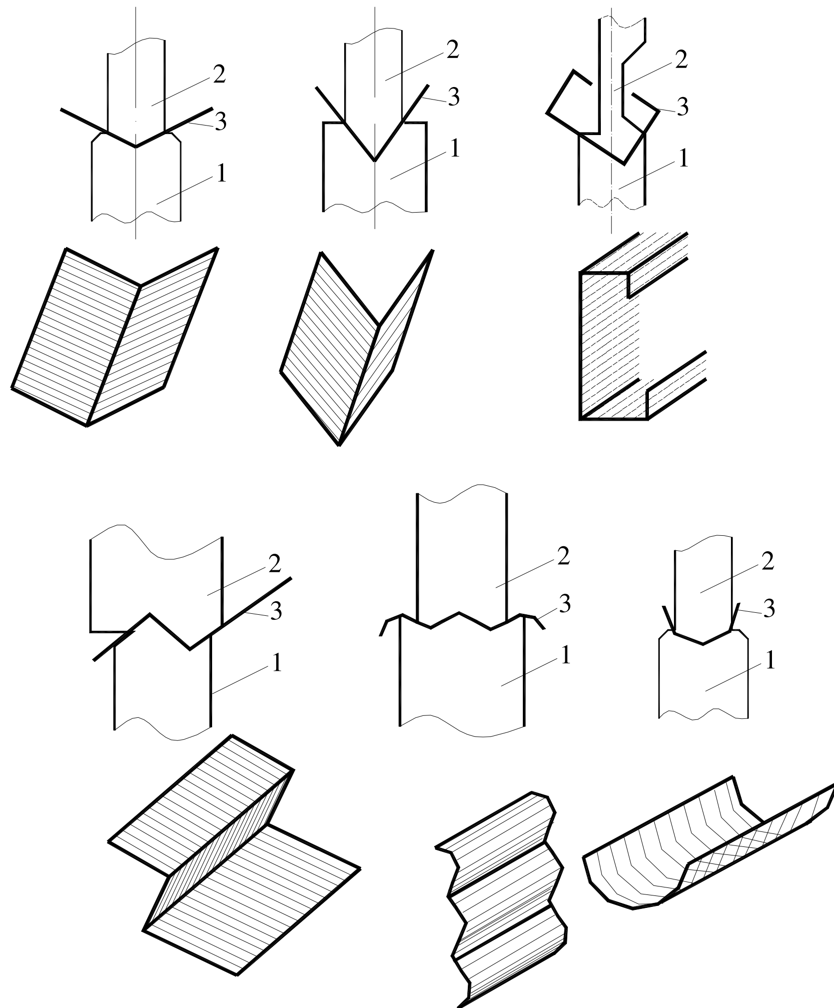


Fig. 5.149. Diferite tipuri de profile îndoite:
1; 2 - elementele active ale matriței de îndoit; 3 – profile îndoite.

- pentru *îndoiri puternice* ($r < 10\ s$), au loc deformații plastice mari însoțite de micşorarea grosimii materialului şi deplasarea stratului neutru, raza de curbură ρ, determinându-se cu relația:

$$\rho = r + k \cdot s \quad [\text{mm}] \ , \qquad (5.216)$$

în care: k este un coeficient subunitar în funcție de grosimea şi natura materialului, precum şi în funcție de raportul r/s (k = 0,383 pentru r/s = 0,1 până la k = 0,5 pentru r/s = 10).

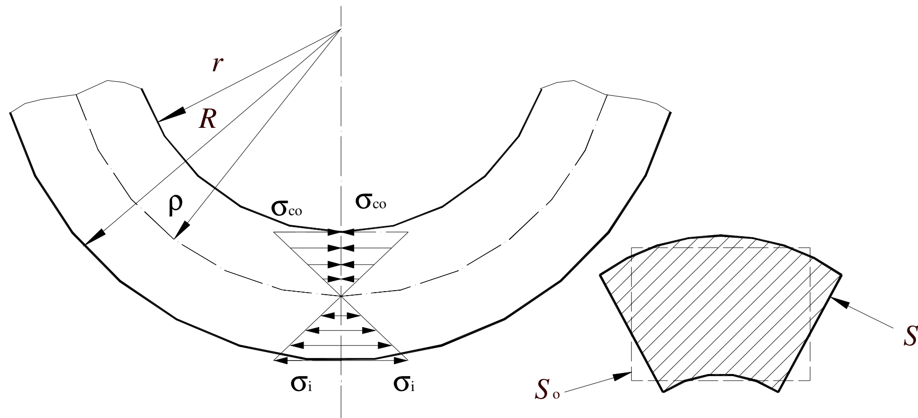


Fig. 5.150. Schema de eforturi la îndoire:
r - raza interioară a porțiunii îndoite; R - raza exterioară; ρ - raza stratului neutru:
σ_{co} - efortul de compresiune; σ_i – efortul de întindere; S_o – secțiunea inițială; S_f – secțiunea finală.

Pentru ca piesele obținute prin îndoire să nu aibă defecte de tipul fisurilor sau crăpăturilor, trebuie ca îndoirea să nu se facă sub o *rază minimă admisibilă.*

În timpul îndoirii, sub acțiunea forței de deformare, în material apar atât deformații plastice, cât şi deformații elastice. După înlăturarea forței care a produs îndoirea, deformațiile elastice dispar, ceea ce conduce la o destindere a piesei îndoite, fenomen care se numeşte *arcuire elastică.* Pentru a se obține o piesă îndoită la unghiul α_o va trebui să se facă îndoirea la unghiul $\alpha < \alpha_o$, astfel încât să se compenseze efectul arcuirii elstice A_e (fig. 5.151), care se determină cu relația

$$A_e = \alpha_o - \alpha\,. \tag{5.217}$$

Arcuirea elastică este extrem de importantă în proiectarea produsului tehnologic de îndoire, de aceea se fac multe încercări experimentale pe materialul supus îndoirii, ridicându-se diagrame de forma celei prezentate în figura 5.151. De exemplu, pentru a efectua o îndoire la unghiul α_o = 30° la un semifabricat din OL 37 , OLC 15 sau OLC 20, cunoscând raportul r/s = 6, rezultă din diagramă valoarea arcuirii elastice A_e =5,2°.

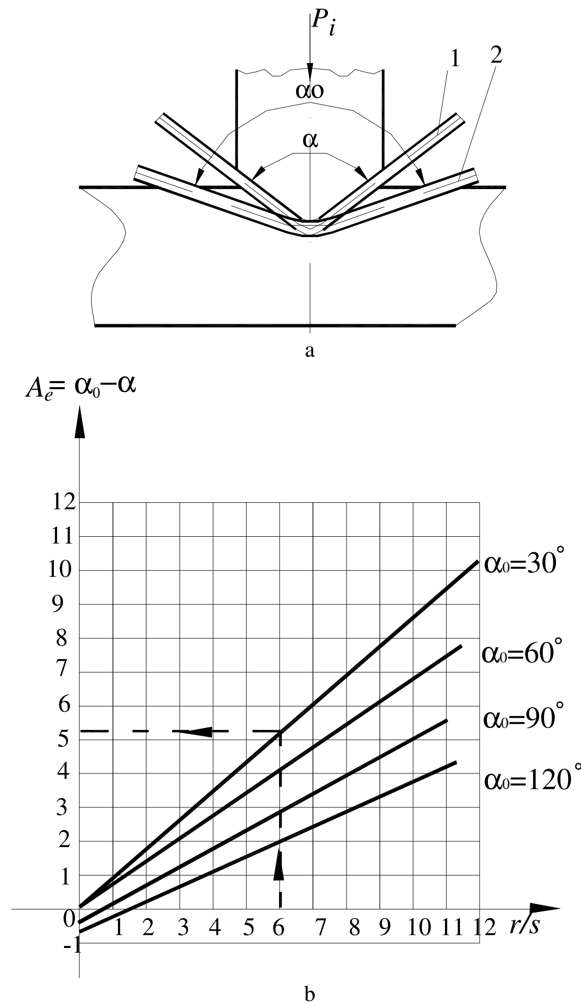


Fig. 5.151. Arcuirea elastică:
a – schema de principiu; b – nomogramă pentru determinarea rapidă a arcuirii elastice A_e; 1- piesa îndoită sub acțiunea forței de îndoire; 2 – piesa îndoită după înlăturarea forței de îndoire; α– unghiul de îndoire; α_o - unghiul funcțional.

Procesul tehnologic de realizare a unei piese prin îndoire cuprinde următoarele etape importante:

1. Stabilirea rolului funcțional al piesei – care se face folosind analiza morfofuncțională a suprafețelor;

2. Alegerea materialului optim pentru confecționarea piesei – folosind metoda de analiză a valorilor optime. Este foarte importantă în acest caz determinarea capacității de îndoire a materialului, de aceea epruvetele din materialul respectiv se supun unor încercări tehnologice, ca de exemplu: încercarea la îndoire simplă; încercarea la îndoire alternată etc.;

3. Determinarea arcuirii elastice A_e – folosind relația (5.217);

4. Alegerea semifabricatului inițial – în funcție de configurația geometrică a piesei pentru dimensiunile de gabarit, simetria formei piesei îndoite, poziția găurilor în semifabricate şi programa de producție. În general, ca semifabricate inițiale se folosesc benzile debitate la dimensiuni din foi de tablă corespunzătoare;

5. Determinarea dimesiunilor semifabricatului inițial – dimensiunile semifabricatelor plane pentru piesele executate prin îndoire se determină în mod diferit pentru următoarele două cazuri:

- când îndoirea se face după o anumită rază;
- când îndoirea se face fără rază de curbură, cu calibrarea unghiului.

În primul caz, pentru calculul lungimii semifabricatului se poate considera că lungimea acestuia este egală cu lungimea stratului neutru al piesei îndoite, deci:

$$L = \sum_{i=1}^{n} l_i + \sum_{j=1}^{m} \frac{\pi \cdot \varphi_j}{180°}\left(r_j + k \cdot s\right), \tag{5.218}$$

în care: l_i reprezintă lungimile porțiunilor drepte; φ_j – unghiurile de îndoire; r_j – razele interioare de îndoire; k – coeficientul de corectare.

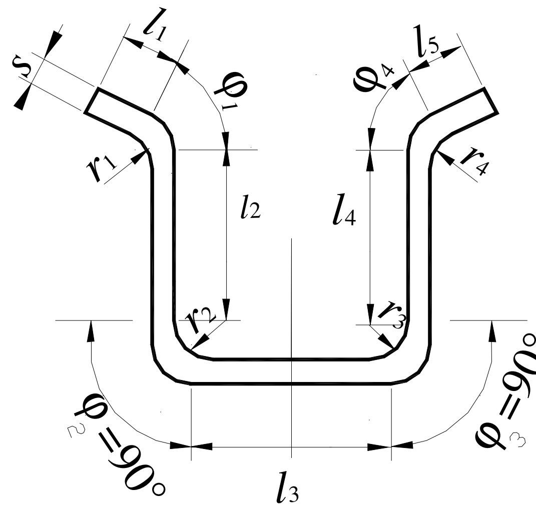


Fig. 5. 152. Exemplu de cotare a unei piese îndoite în vederea determinării lungimii semifabricatului inițial.

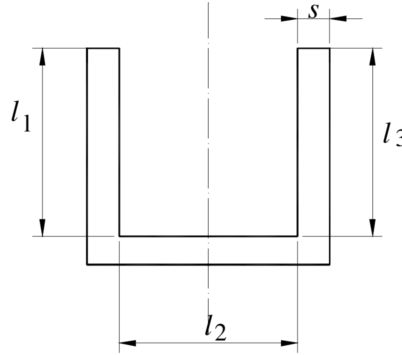


Fig. 5. 153. Exemplu de piesă îndoită fără rază de curbură.

De exemplu pentru piesa din figura 5.153, lungimea semifabricatului inițial L se calculează cu formula:

$$L = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + \frac{\pi\varphi_1}{180}\left(r_1 + \frac{s}{2}\right) + \frac{\pi}{2}\left(r_2 + \frac{s}{2}\right) + \frac{\pi}{2}\left(r_3 + \frac{s}{2}\right) + \frac{\pi\varphi_2}{180}\left(r_4 + \frac{s}{2}\right) \tag{5.219}$$

Pentru piesele îndoite fără rază de curbură figura 5.20, cu calibrarea unghiului printr-o operație suplimentară, dimensiunile semifabricatului plan se determină prin egalarea volumului piesei îndoite cu volumul semifabricatului, luându-se în considerare şi subțierea în porțiunea îndoită. În acest caz rezultă pentru lungimea L relația:

$$L = \sum_{i=1}^{n} l_i + k(n-1)\cdot s, \tag{5.220}$$

în care: l_i reprezintă lungimile porțiunilor drepte; n – numărul de porțiuni drepte; k – coeficient de corecție (k = 0,38...0,40, când raza poansonului r_p = 0,05s; k = = 0,45...0,48, când raza poansonului r_p = 0,1s; valorile minime se iau când s < 1,0 mm, iar valorile maxime când s > 3...4,0 mm).

6. Pregătirea semifabricatului în vederea îndoirii – ce constă în: curățire, decapare şi degresare, pentru a evita apariția eventualelor defecte ce pot apare în timpul îndoirii în matriță;

7. Calculul forței necesare îndoirii – punând condiția ca momentul forței exterioare care acționează asupra semifabricatului să fie egal cu momentul forțelor de rezistență a materialului în procesul deformării plastice. Rezultă pentru forța de îndoire P_i o expresie de forma:

$$P_i = Q\cdot b\cdot s\cdot\sigma_r, \tag{5.221}$$

în care: b este lățimea semifabricatului bandă; s - grosimea semifabricatului bandă; σ_r – rezistența la rupere a materialului; Q – coeficientul ce depinde de natura materialului şi de un parametru q ce se calculează cu relația:

$$q = \frac{s}{0{,}5L_m - r_m - s} + \frac{s}{r_m} \cdot \sqrt{\frac{s}{0{,}5L_m - r_m - r_p}}, \qquad (5.222)$$

unde: r_m; r_p; L_m sunt elementele constructive ale matriței de îndoit (vezi figura 5.148.a);

Cunoscând forța de îndoire se poate determina puterea necesară realizării unei îndoiri *P*, folosind relația:

$$P = \frac{1{,}2 \cdot P_i \cdot h \cdot n}{6120\eta}, \qquad (5.223)$$

în care: P_i este forța de îndoire, în daN; *h* – cursa poansonului pe placa de îndoire, în mm; *n* – numărul de curse duble pe minut al presei; η - randamentul presei (η = 0,6…0,7).

8. Alegerea utilajului necesar îndoirii – în funcție de configurația geometrică a piesei, natura materialului, forța necesară îndoirii şi programa de producție. Se alege matrița de îndoit şi presa pe care se va executa îndoirea propriu-zisă;

9. Controlul inițial al semifabricatului – un control vizual pentru a depista eventualele defecte de suprafață şi dacă este necesar un control nedistructiv pentru a depista eventualele defecte interioare;

10. Tratamentul termic inițial (dacă este cazul) – o recoacere de înmuiere pentru a creşte proprietățile de plasticitate;

11. Încălzirea semifabricatului în vederea îndoirii (dacă este cazul şi numai la table de grosimi mari) – încălzirea la temperatura de început de deformare ;

12. Stabilirea schemei tehnologice de lucru – în funcție de configurația geometrică a piesei şi raza minimă admisibilă la îndoire;

În producția de serie mare sau de masă, pentru profile complicate, cu lungimi mari este economic şi necesar să se facă multe deformări succesive ale semifabricatului (de exemplu, obținerea unui profil rotund, din care se obține o țeavă sudată pe generatoare, pornind de la un semifabricat plan, sunt necesare mai multe îndoiri succesive (fig. 5. 154), îndoiri ce se realizează cu role profilate corespunzător.

13. Îndoirea propriu-zisă – executată manual, mecanizat sau automatizat, în funcție de numărul de operații de îndoire a piesei şi de volumul de producție ce trebuie realizat;

14. Tratamentul termic final (dacă este cazul) – în funcție de condițiile cerute în exploatare;

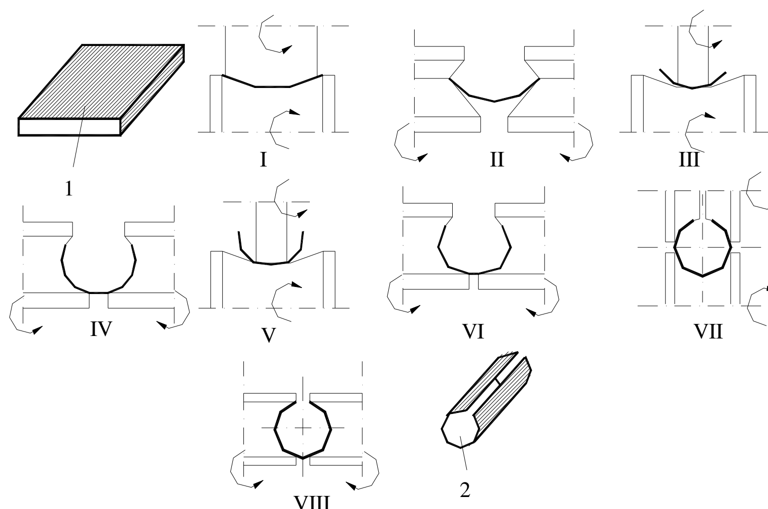


Fig. 5.154. Obținerea unui profil rotund dintr-un semifabricat plan printr-o succesiune de îndoiri: 1 – semifabricatul inițial; 2 - produsul finit; I; II;....VIII – operații de îndoire.

15. Controlul final – un control dimensional pentru a verifica precizia dimensională cerută şi un control nedistructiv pentru a depista eventualele defecte interioare.

5.11.3.2. Curbarea

Curbarea este procedeul tehnologic de îndoire a tablelor sau benzilor pentru a le da o formă cilindrică sau conică. Deformarea se realizează cu ajutorul unor cilindri sau conuri în mişcare de rotație (fig. 5.155).

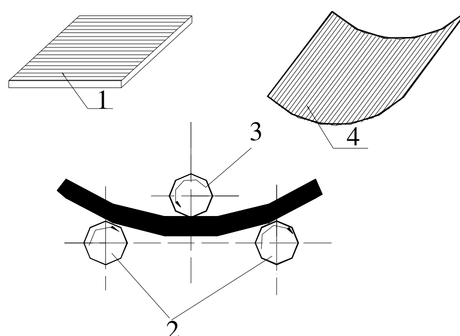


Fig. 5.155. Schema de principiu a curbării:
1 – semifabricatul plan inițial; 2 – cilindrii de sprijin; 3 – cilindrul de deformare; 4 – produsul obținut prin curbare.

Semifabricatul inițial 1 (foaie plană de tablă sau bandă) este trecut printre cilindrii 2 şi 3, reglați corespunzător cu raza de curbură ce se vrea obținută, rezultând produsul finit 4.

5.11.3.3. Roluirea

Roluirea este procedeul tehnologic de prelucrare a tablelor ce constă în îndoirea marginii unui semifabricat plan pentru a se forma parțial sau total o suprafață cilindrică de diametru mic figura 5.156, pentru diferite articulații (de exemplu, ochiul unei foi de arc).

Semifabricatul inițial plan 1 se introduce pe placa fixă 2 a matriței, şi cu ajutorul elementelor mobile 3 şi 4 ale matriței de roluit se formează porțiunea cilindrică 5, de rază interioară *r* şi exterioară *R*. Roluirea se poate executa:

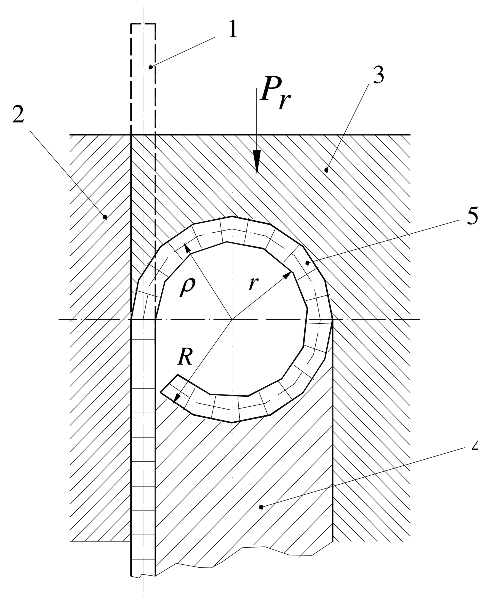


Fig. 5.156. Schema de principiu a roluirii:
1 – semifabricatul inițial; 2 – placă fixă; 3;4 – elementele mobile ale matriței; 5 – produsul roluit.

- liber, când $R < 3{,}3\ s$, fără pericolul ca semifabricatul să flambeze;
- în jurul unui dorn, cu diametrul egal cu $2r$, când $R \geq 3{,}3\ s$.

5.11.3.4. Înfăşurarea

Înfăşurarea este procedeul tehnologic de prelucrare a tablelor ce constă în îndoirea unui semifabricat în jurul unei axe exterioare lui (fig. 5.157), astfel ca stratul neutru să capete o formă elicoidală sau spirală.

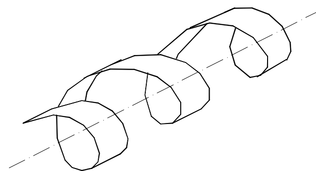


Fig. 5.157. Schema de principiu a înfăşurării.

5.11.3.5. Îndreptarea (planarea)

Îndreptarea (planarea) este procedeul tehnologic de prelucrare a tablelor ce constă în îndoirea în sens corespunzător a semifabricatelor pentru a le îmbunătății planitatea. Semifabricatul 1 cu porțiuni îndoite este trecut prin sistemul de role 2 şi 3, aşezat corespunzător, rezultând produsul finit 4 cu planitatea cerută (fig. 5.158).

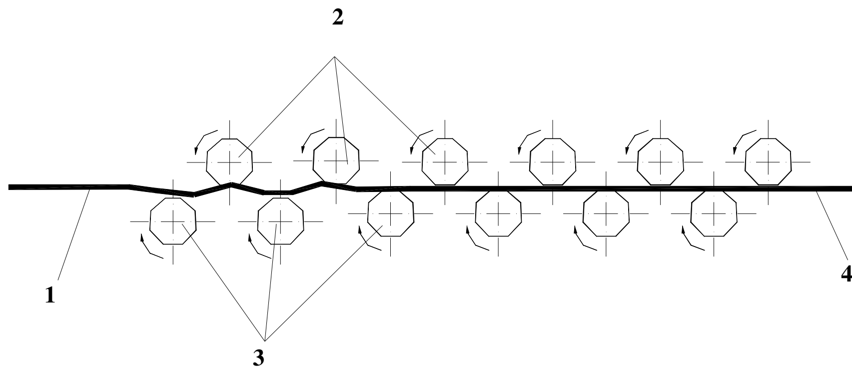


Fig. 5.158. Schema de principiu a îndreptării:
1 – semifabricatul inițial; 2; 3 – role de îndreptat; 4 – produsul finit.

5.11.3.6. Ambutisarea

Ambutisarea este procedeul tehnologic de prelucrare prin deformare plastică a tablelor, ce constă în transformarea unui semifabricat plan într-o piesă cavă, sau în mărirea adâncimii unui semifabricat cav, cu micşorarea corespunzătoare a dimensiunilor transversale.

Schema de principiu a procedeului se prezintă în figura 5.159. Semifabricatul plan 1, sub forma unui disc de diametru D sau o altă formă corespunzătoare se aşează pe matrița 2 şi este forțat să treacă prin orificiul 3 al matriței, sub acțiunea poansonului 4, rezultând în final produsul 5. Pentru ca semifabricatul să nu fie tăiat şi să aibă loc o ungere mai uşoară, poansonul şi matrița sunt prevăzute cu raze de racordare r_p şi corespunzător r_m.

Procesul de transformare a semifabricatului plan în piesă ambutisată presupune micşorarea continuă a lungimii circumferinței acestuia pe măsură ce adâncimea piesei ambutisate creşte. Deoarece pentru obținerea unui cilindru înfundat la unul din capete, plecând de la un disc, este necesar mai puțin material decât cel existent în discul inițial, surplusul de material (elementele haşurate din figura 5.159), conducând la încrețirea marginilor piesei ambutisate 5. La ambutisa-

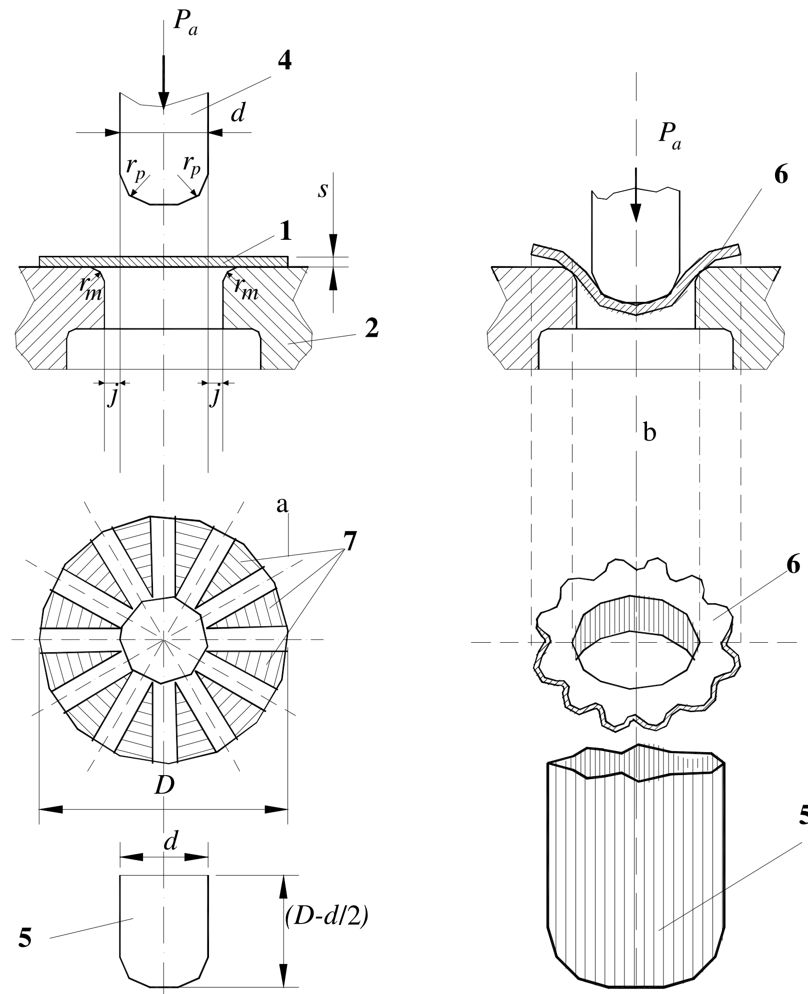


Fig. 5.159. Schema de principiu a ambutisării:
a – faza inițială; b – faza intermediară; c – produsul ambutisat 1- semifabricatul inițial; 2 – matriță; 3 – orificiul matriței; 4 – poanson; 5 – produsul final ambutisat; 6 – produsul intermediar; 7 – surplus de material.

rea tablelor groase aceste cute sunt netezite în jocul *j*, dintre poanson şi matriță, în timp ce la semifabricatele subțiri şi ambutisarea adâncă, împiedicarea formării lor se face cu ajutorul unui inel de reținere (fig. 5.160). Inelul de reținere apasă asupra materialului în tot timpul deformării, împiedicând formarea de încrețituri la partea superioară. Deoarece piesa ambutisată are partea superioară neregulată (cu încrețituri) se supune operației de tundere (vezi fig. 5.145).

Ambutisarea se poate realiza:

- fără subțierea pereților sau cu o variație foarte mică a grosimii pereților, în cazul în care jocul dintre poanson şi matriță respectă condiția $j \geq s$;

- cu subțierea pereților, în cazul în care jocul dintre poanson şi matriță respectă condiția $j < s$.

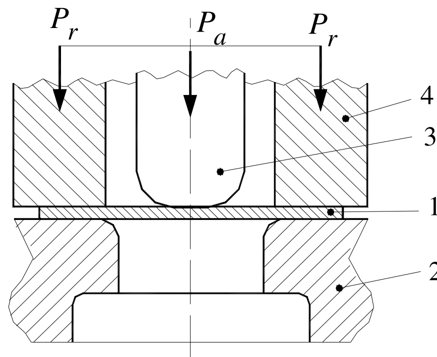


Fig. 5.160. Ambutisarea cu inel de reținere:
1 - semifabricatul inițial; 2 - matriță; 3 – poansonul; 4 – inelul de reținere; P_a – forța de ambutisare; P_r – forța de apăsare cu ajutorul inelului de reținere.

În cazul ambutisării deformarea plastică este deosebit de complexă. Astfel, un element material, al semifabricatului supus ambutisării, se deplasează din poziția I în poziția II, lungindu-se radial sub acțiunea eforturilor de întindere σ_i şi scurtându-se în sens transversal sub acțiunea eforturilor de compresiune $\sigma_{co.}$ Deci, în element are loc o deformație de compresie tangențială urmată de o deformație de lungire în sens radial şi de o îngroşare în sens axial. Mărimea şi felul acestor eforturi şi deformații se schimbă în funcție de poziția elementului material, cele mai puternic solicitate fiind zonele cu curburi (de la fundul cilindrului şi cele în contact cu gulerul matriței).

Procesul tehnologic de realizare a unei piese prin ambutisare cuprinde următoarele etape mai importante:

1. Stabilirea rolului funcțional al piesei sau proiectarea piesei pentru un anumit rol funcțional – folosind analiza morfofuncțională a suprafețelor;

2. Alegerea materialului optim pentru confecționarea piesei – folosind metoda de analiză a valorilor optime. În această etapă este foarte importantă determinarea capacității de ambutisare a materialului, de aceea epruvete din materialul respectiv se supun unor încercări tehnologice (încercarea la forfecare, încercarea la ambutisare Ericson etc.);

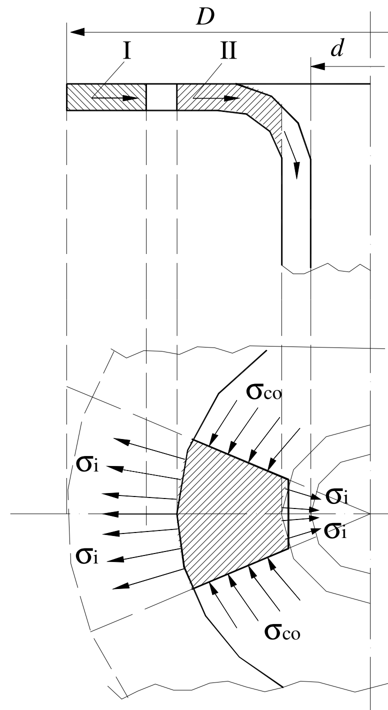


Fig. 5.161. Deformarea plastică a unui element material din semifabricat în timpul ambutisării.

3. Determinarea numărului de ambutisări – pentru ca materialul să nu se fisureze în timpul ambutisării, mai ales la ambutisarea adâncă (h/d > 0,6) este necesar să se execute deformarea prin mai multe treceri succesive, după fiecare trecere micşorându-se diametrul şi crescând înălțimea *h* a piesei ambutisate (fig. 5.162).

Pentru fiecare trecere, reducerea în diametru se stabileşte în aşa fel încât să nu se ajungă la limita de fisurare, folosind un coeficient de ambutisare *m,* ce se calculează cu relația:

$$m = \frac{d_i}{d_{i-1}} < 1, \qquad (5.224)$$

în care: d_i este diametrul piesei la ambutisarea *i*; $d_{i\text{-}1}$ - diametrul piesei la ambutisarea precedentă.

Valoarea coeficientului de ambutisare depinde de natura şi grosimea materialului supus deformării, de tipul sculelor şi utilajul folosit, de configurația geometrică a piesei etc.

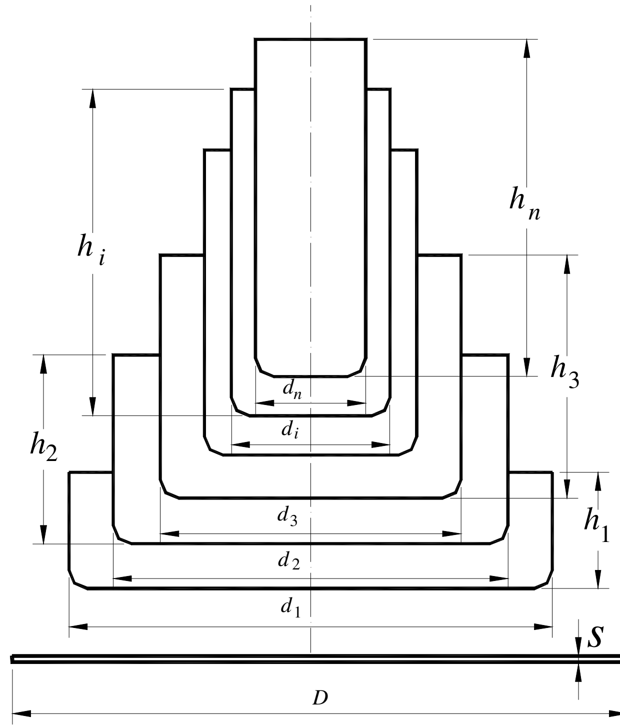


Fig. 5.162. Schema ambutisării adânci şi determinarea numărului de ambutisări.

Dacă se notează cu D diametrul semifabricatului iniţial (disc) şi cu $d_1....d_{n-1}$ diametrele intermediare ale piesei, d_n fiind diametrul piesei finite, atunci se poate determina un coeficient total de ambutisare m_t, dat de relaţia:

$$m_t = \frac{d_n}{D}. \tag{5.225}$$

Valoarea coeficientului m_t nu poate să scadă sub o anumită limită, deoarece aceasta este legată de forţa maximă care poate fi preluată de pereţii piesei în timpul ambutisării (fără să apară fisuri).

Experimental s-a determinat, pentru materialele cu plasticitate foarte bună, valoarea admisibilă a lui m_t = 0,5....0,55. Dacă această valoare este mai mare, sunt necesare mai multe treceri, relaţia de legătură între coeficientul de ambutisare total m_t,şi coeficienţii de ambutisare intermediari m_i, fiind de forma:

$$m_t = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 ......m_i .....m_n, \tag{5.226}$$

în care:

$$m_1 = \frac{d_1}{D};\quad m_2 = \frac{d_2}{d_1};\quad m_i = \frac{d_i}{d_{i-1}} \cdots m_n = \frac{d_n}{d_{n-1}}. \tag{5.227}$$

Tot din condiţii de rezistenţă a materialului s-a determinat experimental că:

$$m_1 = 0{,}45\cdots0{,}55;\ \ m_2 = m_3 = m_4 = \cdots = m_i = \cdots = m_n = m\ .$$
(5.228)

Introducând (5.228′) în (5.229) şi ţinând cont de (5.225), rezultă prin logaritmare numărul de ambutisări *n*, din expresia:

$$n = 1 + \frac{\lg d_n - \lg(m_1 \cdot D)}{\lg m}. \qquad (5.228')$$

Dacă se cunosc coeficienţii de ambutisare, aleşi din tabele în funcţie de natura materialului şi schema de deformare, se pot determina diametrele intermediare folosind relaţiile:

$$d_1 = m_1 \cdot D;\ d_2 = m \cdot d_1;\ \ d_i = m \cdot d_{i-1} \ldots . d_n = m \cdot d_{n-1}\ \ . \qquad (5.229)$$

În cazul ambutisării pieselor conice înalte ($h/d > 0{,}8$ şi $\alpha < 20°$) se foloseşte tot o deformare în trepte, trecând succesiv de la forma plană iniţială la forme cilindrice şi în trepte (fig. 5.163), obţinându-se în final forma conică. În acest caz se foloseşte noţiunea de coeficient convenţional mediu de ambutisare, a cărui exprimare este:

$$m = \frac{d_{med\ i}}{d_{med\ i-1}} \qquad (5.230)$$

în care $d_{med\ i}$ este diametrul mediu la operaţia *i*.

În cazul ambutisării cutiilor pătrate şi dreptunghiulare se foloseşte tot o deformare în trepte, deoarece starea de eforturi unitare şi de deformare nu este uniformă pe perimetrul piesei. Procesul de ambutisare a cutiilor dreptunghiulare şi pătrate (fig. 5.164) este puternic influenţat de parametrii geometrici principali ai cutiei: H/B; r_c/B şi s/B. Semifabricatul iniţial 1 (disc circular de diametrul *D*) trece succesiv în forme ovale (I, II, III) şi în final luând forma cutiei dreptunghiulare cerute (IV).

4. Determinarea formei şi dimensiunilor semifabricatului iniţial. Forma şi dimensiunile semifabricatului iniţial este în funcţie de configuraţia geometrică a piesei finite, de schema tehnologică de lucru impusă şi de tipul ambutisării (cu sau fără subţierea pereţilor). Pentru obţinerea de piese cilindrice sau conice prin ambutisare, se folosesc semifabricate de forma discurilor de diametru *D*.

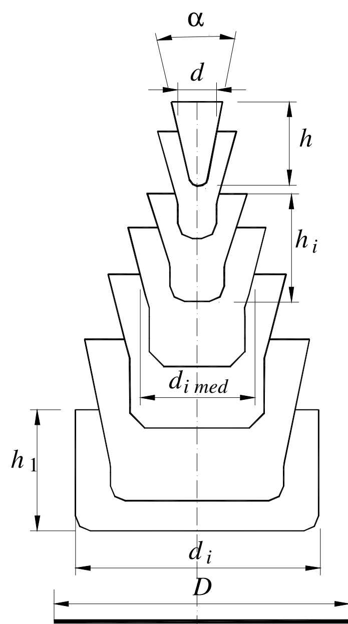


Fig. 5.163. Ambutisarea pieselor conice înalte (h/d > 0,8 şi α < 20º).

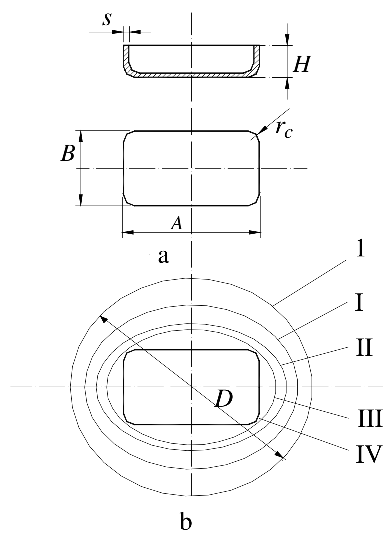


Fig. 5.164. Ambutisarea cutiilor dreptunghiulare:
a - elementele geometrice ale cutiei; b – deformările succesive: 1 – semifabricatul iniţial;
I; II...IV – ambutisări succesive.

Determinarea dimensiunilor semifabricatului inițial pentru ambutisare este deosebit de dificilă, folosindu-se metode analitice, grafice şi grafo-analitice. Dintre metodele analitice se utilizează:

- *metoda egalării ariilor*, ce constă în determinarea diametrului D al semifabricatului din egalarea ariei semifabricatului S_o cu aria piesei ambutisate S_p (considerând că nu are loc subțierea pereților), deci:

$$S_o = S_p; \quad \frac{\pi \cdot D^2}{4} = S_p \text{, din care rezultă } D = 1{,}13\sqrt{S_p} \,. \quad (5.231)$$

În cazul ambutisării pieselor de revoluție mai complicate, acestea se descompun în mai multe suprafețe geometrice simple S_1, S_2...S_n şi se determină diametrul semifabricatului inițial D, cu expresia:

$$D = 1{,}13\sqrt{\sum_{i=1}^{n} S_i} \,. \quad (5.232)$$

- *metoda egalării volumelor*, ce constă în egalarea volumului semifabricatului V_s cu volumul piesei finite V_p (cazul ambutisării cu subțierea pereților), deci:

$$V_s = V_p; \quad \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot s = V_p, \quad \text{din care rezultă } D = 1{,}13\sqrt{\frac{V_p}{s}} \,. \quad (5.233)$$

Pentru piesele de revoluție complicate, acestea se descompun în mai multe piese simple de revoluție cu volumele V_1, V_2, ...V_n şi diametrul D se determină cu expresia

$$D = 1{,}13\sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{V_i}{s}} \,. \quad (5.234)$$

- *metodele grafice şi grafo-analitice* se folosesc pentru piesele de configurație geometrică complicată (piese din industria automobilelor, autocamioanelor, avioanelor, bunurilor de larg consum etc.). Aceste metode permit determinarea formei şi dimensiunilor semifabricatului pornind de la desfăşurata piesei finite şi aplicarea legii volumului constant.

Observație. Acum, sunt softuri specializate care permit rezolvarea rapidă şi corectă a tuturor problemelor legate de stabilirea formei şi dimensiunilor semifabricatului inițial.

5. Alegerea semifabricatului inițial – în funcție de configurația geometrică a piesei ambutisate finite, natura şi grosimea materialului şi programa de produce.

6. Tratamentul termic inițial – recoacerea de înmuiere în vederea creşterii proprietăților de plasticitate.

7. Controlul inițial – un control vizual, pentru a depista eventualele fisuri sau crăpături de la suprafață, şi un control nedistructiv (pentru piesele importante), pentru a depista eventualele defecte interioare.

8. Pregătirea semifabricatului în vederea ambutisării – ce constă în: curățire, decapare şi degresare pentru a evita apariția eventualelor defecte din timpul ambutisării. Pentru a micşora frecările la interfața semifabricat-matriță; semifabricat-inel de reținere, se procedează la o ungere a semifabricatului (cu săpun, talc, ulei mineral, ulei de grafit etc.). Trebuie evitată ungerea părții care vine în contact cu poansonul.

9. Calculul forței necesare ambutisării, P_a. – Forța de ambutisare se calculează în funcție de efortul unitar radial total şi de secțiunea peretelui piesei ambutisate rezultând o relație complicată. În cazurile practice se recomandă o relație de forma:

$$P_a = k \cdot \pi \cdot d \cdot s \cdot \sigma_r , \tag{5.235}$$

în care: k este un coeficient ce depinde de coeficientul de ambutisare (tab. 5.5); s – grosimea semifabricatului, în mm; d – diametrul piesei finite, în mm; σ_r – rezistența convențională la rupere, în daN/mm^2.

Tabelul 5.5. *Valorile coeficientului de corecție k din relația forței de ambutisare*

$m = \dfrac{d}{D}$	0,550	0,575	0,600	0,625	0,650	0,675	0,700	0,750	0,775	0,800
k	1,0	0,93	0,86	0,79	0,66	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4

10. Stabilirea schemei tehnologice de lucru - ținând cont de complexitatea piesei, coeficientul de ambutisare, numărul de ambutisări, generatoarea piesei şi programa de producție. Probleme complicate apar la ambutisarea pieselor complexe asimetrice, unde sunt necesare acele *adaosuri tehnologice speciale* pentru fixarea semifabricatelor în timpul ambutisării şi pentru uniformizarea eforturilor unitare. De aceea în aceste cazuri este necesară o analiză a piesei în faza de proiectare;

11. Alegerea utilajului necesar ambutisării – în funcție de schema tehnologică de lucru, configurația geometrică a piesei, precizia geometrică a piesei finite, mărimea forței de ambutisare şi a forței din inelul de reținere şi programa de producție. Se aleg matrițele de ambutisare şi presa pe care se execută ambutisarea propriu-zisă;

12. Încălzirea semifabricatului în vederea ambutisării (dacă este cazul) – o încălzire până la atingerea temperaturii de început de deformare, în toată masa materialului;

13. Ambutisarea propriu-zisă – manual, mecanizat sau automatizat, în funcție de configurația geometrică a piesei, precizia geometrică şi de programa de

producție;

14. Tratamentul termic intermediar. În procesul deformării plastice, la ambutisare, sub influența eforturilor mari care se creează, are loc, în anumite condiții, o puternică ecruisare ce face imposibilă deformarea în etapa următoare. De aceea, după un anumit număr de operații se aplică o *recoacere înaltă*, atunci când ecruisarea nu poate fi înlăturată printr-o *recoacere joasă (recristalizare)*;

15. Curățirea – înlăturarea stratului de lubrifiant de pe suprafața piesei ambutisate. Se poate face prin: degresare în băi alcaline; degresare în băi electrolitice; spălare cu benzină sau tricloretilenă; curățirea cu ultrasunete; dizolvare cu anumiți solvenți organici etc;

16. Calibrarea – operație specială ce se face în scopul creşterii preciziei dimensionale a piesei ambutisate. În mod curent la ambutisare se pot obține piese în treptele 8...10 de precizie, iar după calibrare se poate ajunge la treptele 6....7 de precizie;

17. Tunderea – operația de îndepărtare a porțiunilor superioare ale piesei ambutisate rezultate cu încrețituri şi ondulații, datorită apăsării insuficiente a inelului de reținere;

18. Controlul final – reprezentând atât un control dimensional, cât şi un control nedistructiv, pentru a pune în evidență defectele ce pot apărea la ambutisare, care sunt:

- *variațiile grosimii pereților piesei*, datorită jocului neuniform între poanson şi placa de ambutisare sau a aşezării incorecte a semifabricatului;
- *urmele şi zgârieturile pe suprafața piesei*, datorită asperităților suprafețelor active ale poansonului şi plăcii active sau uzurii pronunțate a acestora;
- *fisurile şi ruperile în diferite zone*, datorită efectului de tragere radială prea mare sau a plasticității insuficiente a materialului, a durificării în urma procesului de ecruisare, a unei structuri grosolane, a razelor de racordare prea mici sau a unei ungeri necorespunzătoare;
- *ondulațiile şi cutele de pe suprafața piesei ambutisate*, datorită apăsării insuficiente a inelului de reținere sau a razei prea mari de racordare a plăcii de ambutisare;
- *înălțimea neuniformă a piesei, ovalități*, datorită jocului prea mare sau a diferențelor prea mari între razele de racordare ale poansoanelor la două operații consecutive;

19. Ambalarea şi trimiterea către beneficiar – în funcție de destinația ulterioară a pieselor ambutisate.

5.11.3.7. Procedee tehnologice de fasonare a pieselor din tablă

Aceste procedee au ca scop schimbarea formei unui semifabricat din tablă printr-o deformare locală cu stări de tensionare diferite, fără modificarea grosimii semifabricatului. Cele mai frecvente operații întâlnite în cadrul acestor procedee tehnologice sunt următoarele:

- *reliefarea* constă în executarea unei deformaţii locale de mică adâncime (o ambutisare locală de mică adâncime) în vederea obţinerii nervurilor de rigidizare, ornamentaţiilor, efigiilor, inscripţiilor, bosajelor etc. Schema de principiu se prezintă în figura 5.165.

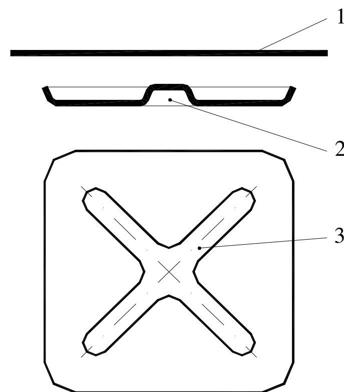


Fig. 5.165. Schema de principiu a reliefării:
1- semifabricatul iniţial; 2 – deformaţia locală; 3 – nervura rezultată.

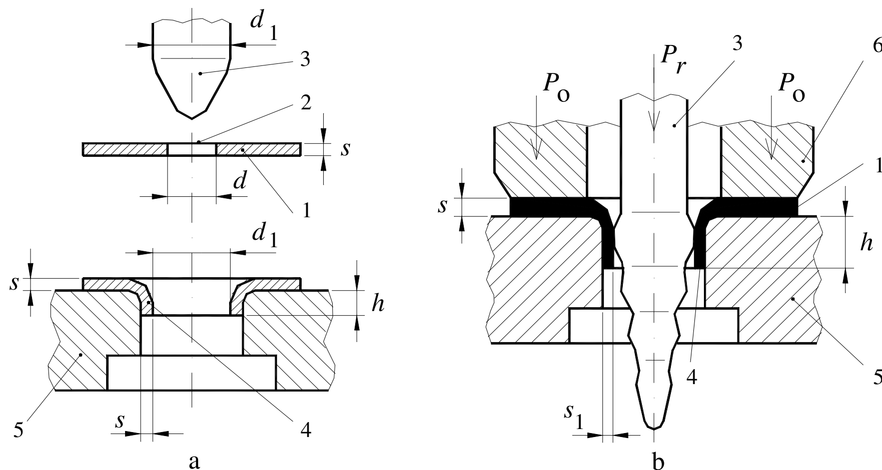


Fig. 5.166. Schema de principiu a răsfrângerii:
a – fără subţierea grosimii; b – cu subţierea grosimii: 1- semifabricatul iniţial; 2 – orificiul piesei; 3 – poansonul; 4 – bordura; 5 – matriţa; 6 – inelul de reţinere.

Semifabricatul plan iniţial 1 este deformat local printr-o ambutisare locală de mică adâncime 2, rezultând nervura 3. Un mare beneficiar al acestei operaţii este industria constructoare de automobile şi cea a bunurilor de larg consum.

Forța necesară realizării reliefării P_r, pentru piese mici, se poate calcula cu relația:

$$P_r = S \cdot p_r \cdot k \quad , \qquad (5.236)$$

în care: S este suprafața reliefului imprimat, în mm^2; p_r – presiunea de reliefare (p_r =10...20 daN/mm^2 pentru piese din aluminiu; p_r = 20...25 daN/mm^2, pentru piese din alamă și p_r = 30...40 daN/mm^2, pentru oțel); k – coeficient de corecție, în funcție de grosimea semifabricatului (k = 0,7...0,8 pentru semifabricate cu s < 1,0 mm și k = 1,0...1,16, pentru $s \geq$ 1,0 mm).

Pentru imprimarea nervurilor de rigidizare, forța necesară P_r se poate calcula cu relația:

$$P_r = k \cdot L \cdot s \cdot \sigma_r , \qquad (5.237)$$

în care: L este lungimea nervurii imprimate, în mm; s – grosimea materialului, în mm; σ_r – rezistența la rupere a materialului, în daN/mm^2; k – coeficient de corecție ce ține cont de lățimea nervurii (k = 0,7.....1,0);

Reliefarea se face de obicei într-o singură operație, dar în cazul unor deformații locale mai adânci sunt necesare mai multe reliefări succesive, cu tratament termic intermediar de recoacere, în vederea restabilirii proprietăților de plasticitate;

- *răsfrângerea* este operația de fasonare a marginii orificiilor din piesă sau a marginii conturului exterior al piesei. Operația se execută cu următoarele scopuri:

- formarea unui guler de asamblare prin filetare la găuri;
- mărirea rigidității sau formarea unei suprafețe de asamblare, la marginile conturului exterior al piesei;
- formarea unei flanșe, la țevi etc.

Schema de principiu a operației se prezintă în figura 5.166. Semifabricatul inițial 1 prevăzut cu orificiul 2, de diametru d, este deformat cu poansonul 3, de diametru $d_1 > d$, până se formează bordura 4, de înălțime h, în matrița 5.

Răsfrângerea marginilor găurilor se execută cu rază mică de rotunjire și înălțime mare a bordurii (fig. 5.166. a) la găurile ce urmează a fi filetate sau în care se vor presa capetele unor axe. În diverse ramuri industriale (mecanică fină, electronică, electrotehnică etc.) sunt necesare piese din tablă care au găuri cu pereți cilindrici de înălțime mare, de aceea se face răsfrângerea marginilor cu subțierea pereților (fig. 5.166. b). Această operație se execută cu poansoane în trepte, la presa cu dublă acțiune, și în condițiile unei ungeri abundente cu un lubrifiant vâscos.

Forța necesară pentru realizarea răsfrângerii P_r pentru un orificiu de diametrul d, se determină cu relația

$$P_r = 1{,}1 \cdot \pi \cdot s\left(d_1 - d\right) \cdot \sigma_r , \qquad (5.238)$$

în care: d_1 este diametrul poansonului, în mm; s – grosimea semifabricatului, în mm; σ_r - rezistența la rupere a materialului, în daN/mm^2.

- *umflarea* este operația de ambutisare transversală ce constă în lărgirea pieselor cave sau a semifabricatelor din țeavă, în vederea măririi dimensiunilor transversale (fig. 5.167). În timpul umflării materialul suferă o întindere accentuată în direcție radială, din interior spre exterior, de aceea suferă o subțiere în zona respectivă. Umflarea are loc într-o matriță demontabilă pentru a putea scoate piesa după deformare. Presiunea necesară deformării se poate realiza:

- cu poanson de cauciuc (fig. 5.167);
- cu lichid în loc de poanson;
- cu sectoare extensibile care se deplasează sub acțiunea unei pene;
- prin deformare electrohidraulică;
- prin explozie.

Coeficientul de umflare k_u este dat de raportul diametrului maxim rezultat după umflare d_{fmax} şi diametrul semifabricatului inițial D, deci

$$k_u = \frac{d_{f\max}}{D}. \tag{5.239}$$

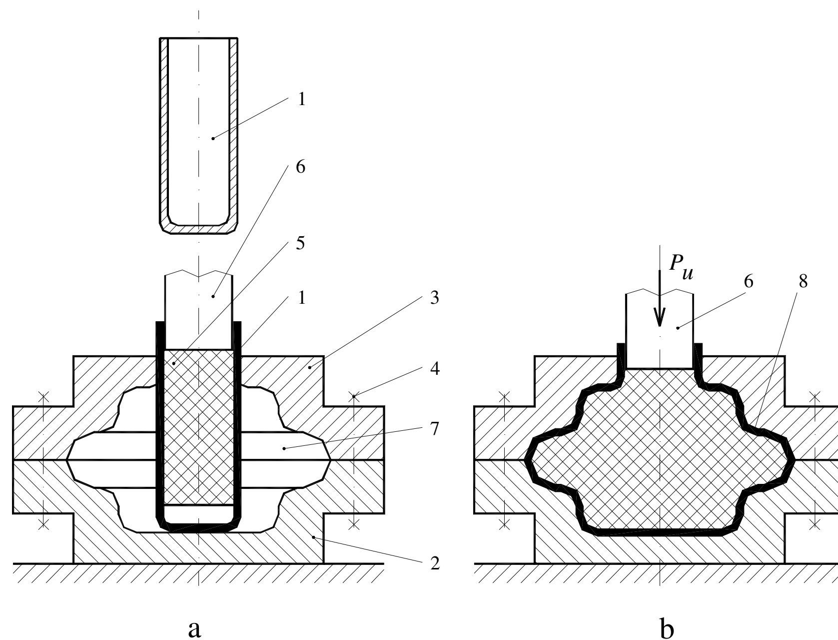


Fig. 5. 167. Schema de principiu a umflării folosind poanson de cauciuc: a – poziția inițială; b – în timpul umflării: 1- semifabricatul inițial; 2 – semimatrița inferioară; 3 –semimatrița superioară; 4 –dispozitiv de fixare; 5 – poanson de cauciuc; 6 – poanson metalic; 7- cavitatea de deformare prin umflare; 8- produsul realizat.

Schema de principiu a umflării folosind poansoane de caucic se prezintă în figura 5.167. Semifabricatul inițial *1,* se așează pe semimatrița 2, care se închide cu semimatrița 3 prin intermediul unor sisteme de prindere 4. În interiorul semifabricatului se introduce poansonul de cauciuc 5, care va fi deformat cu ajutorul poansonului metalic 6 prin apăsarea cu forța P_u (fig. 5.167. b). După umflare, cele două semimatrițe se deschid și se scoate piesa finită 8.

Forța necesară umflării P_u folosind poansoane de cauciuc se poate determina cu relația:

$$P_u = 50 \cdot \pi \cdot s \cdot D \cdot \sigma_c , \qquad (5.240)$$

în care: D este diametrul semifabricatului, în mm; s – grosimea materialului, în mm; σ_c – rezistența la curgere a materialului, în daN/mm^2.

- *gâtuirea* este operația prin care se micșorează secțiunea transversală a capetelor unor piese cave sau a țevilor, prin presarea materialului din exterior spre interior. În urma gâtuirii piesa poate deveni conică, conică prelungită cu o parte cilindrică sau sferică.

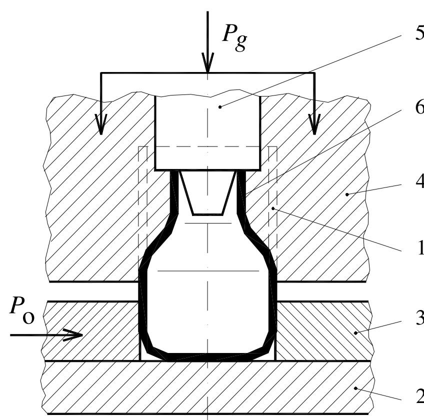


Fig. 5.168. Schema de principiu a gâtuirii:
1- semifabricatul inițial; 2- placa de sprijin; 3 - placă de fixare; 4 - matrița de deformare; 5 - poanson; 6 - piesa finită.

La gâtuire, deformarea are loc în condițiile unei compresiuni tangențiale puternice, materialul îngroșându-se la margini. Schema de principiu a gâtuirii se prezintă în figura 5.168. Semifabricatul cav 1 se așează pe placa de sprijin 2 și se fixează în placa de fixare 3. Prin apăsare pe partea frontală a semifabricatului cu matrița 4 și poansonul 5, materialul este obligat să intre în porțiunea conică a matriței realizând produsul finit 6.

Asupra procesului de deformare la gâtuire influențează parametrii geometrici ai piesei, proprietățile fizico-mecanice ale materialului semifabricatului,

construcţia şi tipul matriţei, geometria părţii de lucru, frecarea dintre semifabricat şi suprafeţele active ale sculei.

Forţa necesară efectuării operaţiei de gâtuire P_g se poate determina cu o relaţie de forma:

$$P_g = \pi \cdot D \cdot s \cdot \sigma_c , \qquad (5.241)$$

în care: D este diametrul semifabricatului, în mm; s - grosimea semifabricatului, în mm; σ_c – rezistenţa la curgere a materialului, în daN/mm^2;

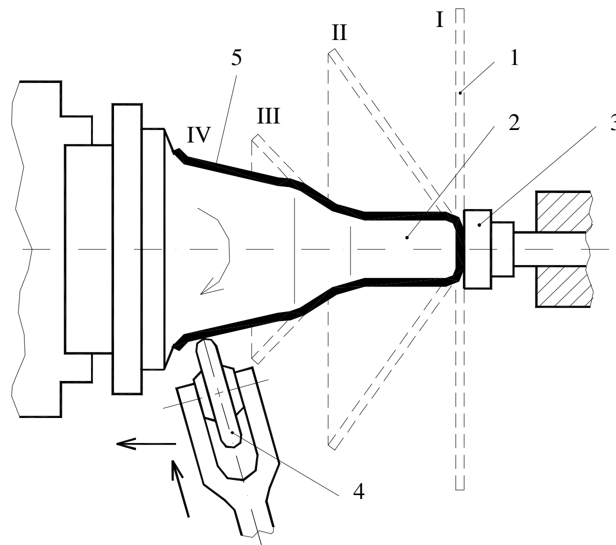


Fig. 5.169. Schema de principiu a fasonării pe strung:
1- semifabricatul iniţial; 2-modelul; 3 - tamponul de fixare; 4 - rolă profilată; 5 - piesa ambutisată.

- *fasonarea pe strung* sau *ambutisarea pe strung* este operaţia de modificare a unui semifabricat plan într-o piesă cavă folosind un model în mişcare de rotaţie. Se aplică în producţia de unicate sau serii foarte mici când este mult mai uşor de construit un model cu configuraţia piesei dorite decât o matriţă de ambutisat. Schema de principiu a fasonării pe strung se prezintă în figura 5.169. Semifabricatul iniţial plan 1 se introduce între modelul 2, fixat în universalul strungului, şi tamponul de fixare 3, prins în păpuşa mobilă. Cu ajutorul rolei profilate 4, semifabricatul va fi deformat trecând prin poziţiile I...IV, până la obţinerea piesei finite 5. Modelul se poate roti cu o turaţie de 400...600 rot./min (pentru semifabricatele din oţel) şi 600...1 200 rot./min (pentru materiale cu plasticitate ridicată: aluminiu, alamă, cupru etc.). Operaţia se poate face fără subţierea sau cu subţierea grosimii peretelui piesei.

5.11.4. Procedee speciale de prelucrare a tablelor

Procedeele tehnologice de prelucrare a tablelor analizate în paragrafele precedente se aplică foarte mult în toate ramurile producției, fiind eficiente şi raționale în producția de serie şi de masă şi pentru materiale cu plasticitate bună, datorită costului relativ ridicat al matrițelor. De aceea, pentru producția de serie mică şi mijlocie, precum şi pentru materialele cu plasticitate scăzută, au fost proiectate şi realizate procedee speciale de prelucrare cu aplicabilitate mai mare sau mai mică. În continuare vor fi tratate sintetic câteva din cele mai utilizate procedee speciale de prelucrare a tablelor:

5.11.4.1. Prelucrarea tablelor cu ajutorul cauciucului

Se aplică în special la tablele subțiri, confecționate din materiale cu plasticitate ridicată. Dă rezultate foarte bune în producția de serie mică, pentru piese cave de adâncime mică şi configurație simplă. Fie că este vorba de o prelucrare prin ştanțare (fig.5.170. a), fie că este o prelucrare prin ambutisare (fig. 5.170. b) sau o fasonare prin umflare (fig. 5.167), în toate cazurile se foloseşte un poanson de cauciuc pentru deformarea materialelor. Deformarea se face în condiții foarte bune la presiuni de până la 100 bar. Procedeul prezintă avantajul unei scule foarte ieftine, dar şi dezavantajul pierderii elasticității poansonului sau plăcii de tăiere după un anumit număr de piese.

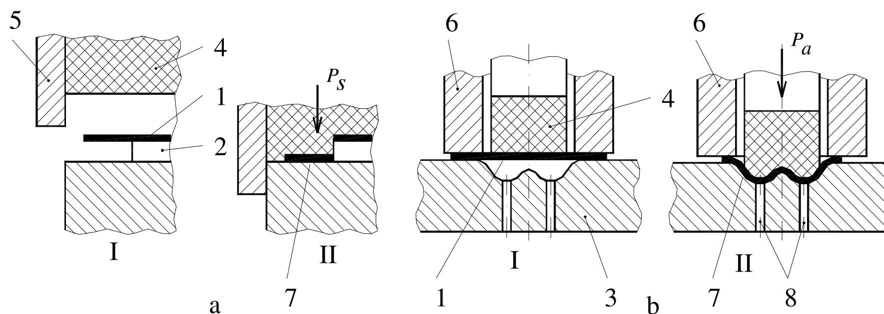


Fig. 5.170. Prelucrarea tablelor folosind poansonul de cauciuc:
a – prin ştanțare; b- prin ambutisare; 1 - semifabricatul inițial; 2 - placa de tăiere;
3 - placa de ambutisare; 4 – poanson de cauciuc; 5 element de ghidare; 6 – inel de reținere;
7 – produsul finit; 8 – canale de evacuare a aerului; I - faza inițială; II - faza finală.

5.11.4.2. Ambutisarea cu încălzirea locală a flanşei

Procedeul permite obținerea unor piese cu grad mare de deformare, pe seama creşterii locale a plasticității materialului. Semifabricatul inițial 1 (fig. 5.171), aşezat între placa de ambutisare 2 şi inelul de reținere 3, este încălzit de inductoarele 4 şi 5. Deformarea semifabricatului se realizează cu ajutorul poanso-

nului 6, răcit în permanență de sistemul de răcire 7.

Datorită încălzirii la o anumită temperatură optimă, rezistența la deformare scade făcând posibilă realizarea unor grade mari de deformare sau ambutisarea unor materiale greu deformabile. Încălzirea flanşei trebuie făcută imediat deasupra temperaturii de recristalizare, în funcție de natura materialului semifabricatului. Pe măsură ce semifabricatul se ambutisează şi se transformă în perete lateral, acesta ia contact cu poansonul care este răcit pentru a creşte din nou rezistența piesei ambutisate.

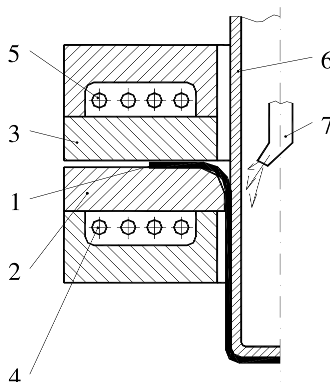


Fig. 5.171. Schema de principiu la ambutisarea cu încălzirea locală a flanşei:
1 - semifabricatul inițial; 2 - placa de ambutisare; 3 - inelul de reținere; 4; 5 - inductoarele;
6 - poansonul; 7 - sistemul de răcire.

Grosimea semifabricatelor ce pot fi ambutisate economic prin încălzirea locală a flanşei este de 0,5...2,0 mm, peste această grosime încălzirea devenind ineficientă. Este singura metodă ce permite obținerea de piese ambutisate din aliaje de magneziu şi titan. Pot fi ambutisate atât piese cilindrice, cât şi cutii dreptunghiulare sau pătrate, precum şi piese complexe. Se pot obține piese având înălțimea h = (1,3...2,3)d, față de procedeele clasice unde h = (0,6...0,7)d.

5.11.4.3. Prelucrarea hidraulică a tablelor

Procedeul se aplică la obținerea din tablă a unor piese complicate de formă conică, parabolică, sferică sau combinații, dintr-o singură operație de ambutisare. Schema de principiu a procedeului se prezintă în figura 5.172. Semifabricatul inițial 1 se prinde între matrița de ambutisare 2 şi capacul 3, fixat prin intermediul sistemului de asamblare 4. În husa de cauciuc 5 se introduce lichid sub presiune 6, cu ajutorul unor pompe. Sub acțiunea lichidului sub presiune husa de cauciuc deformează semifabricatul, obținându-se piesa ambutisată 8. Presiunea de lucru poate atinge 50...200 daN/cm^2, realizându-se piese ambutisate dintr-o singură ambutisare (dacă s-ar face prin procedeele clasice de ambutisare ar fi necesare

3...6 ambutisări succesive).

Procedeul prezintă următoarele avantaje:

- deformarea se face fără poanson metalic;
- deformarea se face fără utilaje de presare folosind instalații de pompare de înaltă presiune;
- în timpul deformării presiunea hidraulică este uniform repartizată pe semifabricat, permițând obținerea de piese complexe, într-o singură operație.

Procedeul se poate aplica şi la fasonarea prin umflare sau reliefare.

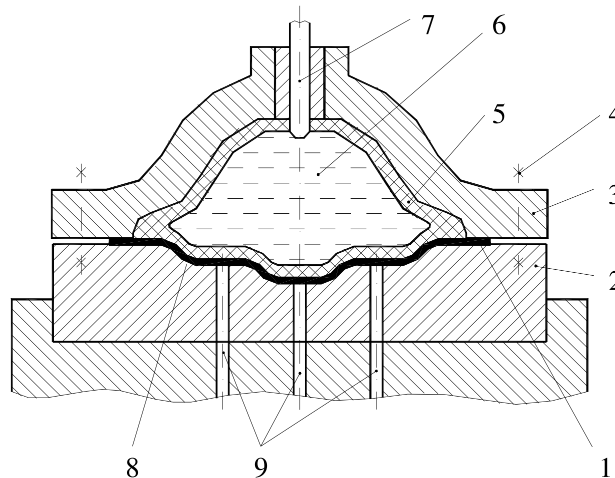


Fig. 5.172. Schema de principiu la ambutisarea hidraulică:
1 - semifabricatul inițial; 2 - matrița de ambutisare; 3 - capac; 4 - sistem de fixare; 5 - husă de cauciuc; 6 - lichid; 7 - ajutaj; 8 - piesa finită; 9 - canale de evacuare a aerului.

5.11.4.4. Prelucrarea electrohidraulică a tablelor

Procedeul are la bază energia rezultată în urma descărcării dintre doi electrozi plasați într-un mediu lichid. Ca urmare a descărcării electrice, în mediul lichid se creează o puternică undă de şoc care se transmite spre semifabricat deformându-l cu viteză foarte mare. Viteza de deformare a undei de presiune poate atinge 6 000 m/s, iar presiunea maximă realizată, 6×10^3 daN/cm^2. Schema de principiu a deformării electrohidraulice se prezintă în figura 5.173. Semifabricatul inițial 1 se aşează pe matrița 2, fiind apăsat de inelul 3, care la rândul lui este fixat de matriță prin sistemul de fixare 4. Deasupra semifabricatului se pune rezervorul 5, plin cu lichidul 6 (apă), în care se găsesc introduşi electrozii de descărcare 7. Ca urmare a descărcării bateriei de condensatoare C, are loc o descărcare între electrozi şi formarea unei unde de şoc 8, care proiectează semifabricatul pe pereții 9 ai cavității matriței, rezultând piesa 10. Pentru a evita spargerea matriței sunt necesare canalele de evacuare a aerului 11.

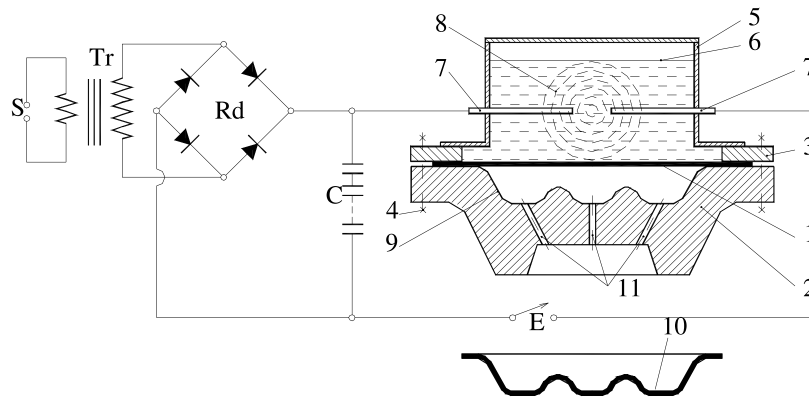


Fig. 5.173. Schema de principiu a deformării electrohidraulice:
1- semifabricatul inițial; 2 – matrița; 3 – inelul de reținere; 4 – sistemele de fixare; 5 – rezervorul cu lichid; 6 – lichidul; 7 – electrozii de descărcare; 8 - unda de şoc; 9 – cavitatea matriței; 10 – piesa finită; 11- canalele de evacuare a aerului; Tr- transformatorul de înaltă tensiune; Rd - puntea de redresare; S- sursa de alimentare; C – bateria de condensatoare; E - eclatorul.

Procedeul are un randament ridicat în comparație cu alte procedee şi permite obținerea de piese complexe din materiale greu sau imposibil de deformat prin alte procedee clasice. Se aplică în special la aliajele de aluminiu şi oțelurile inoxidabile.

5.11.4.5. Prelucrarea magnetodinamică a tablelor

Procedeul are la bază interacțiunea dintre un câmp magnetic sub formă de impuls de mare intensitate (cu durata de ordinul microsecundelor) şi câmpul magnetic al curentului indus în semifabricatul supus deformării.

Câmpul magnetic impulsiv se obține prin descărcarea unei baterii de condensatoare într-o bobină inductoare. Datorită duratei mici de descărcare şi valorii mari a energiei acumulate, în spațiul înconjurător al bobinei se generează un câmp magnetic sub formă de impuls. Deoarece acest câmp magnetic este variabil în timp, el va induce în semifabricatul inițial curenți turbionari.

Curentul indus creează la rândul său un câmp magnetic propriu, care se opune câmpului inductor. Din acțiunea de respingere reciprocă a celor două câmpuri magnetice, semifabricatul este supus unei presiuni care, depăşind limita de curgere, produce deformarea plastică a acestuia.

Schema de principiu a prelucrării magnetodinamice se prezintă în figura 5.174. Semifabricatul inițial 1 se introduce în interiorul unui inductor 2 împreună cu un concentrator de câmp 3. În interiorul semifabricatului (dacă acesta este cilindric) sau la o anumită distanță de el (dacă acesta are altă formă) se introduce matrița 4 sau altă piesă (dacă este vorba de o asamblare sau închidere) având forma ce se vrea obținută în urma deformării.

De la sursa de alimentare S, prin transformatorul de înaltă tensiune Tr, curentul este redresat cu ajutorul punții redresoare Rd, de la care se încarcă bateria de condensatoare C. În momentul când energia înmagazinată în bateria C este suficientă pentru a deforma semifabricatul 1, aceasta este brusc descărcată în bobina 2, cu care formează un circuit oscilant de tip RLC. Elementul de cea mai mare importanță este bobina de inducție (inductorul). Aceasta este înfăşurată pe o piesă numită concentrator de câmp, prin intermediul căruia se manifestă în raport cu semifabricatul de deformat. Concentratorul de câmp este constituit în conformitate cu forma piesei şi a locului unde trebuie concentrate forțele de deformare.

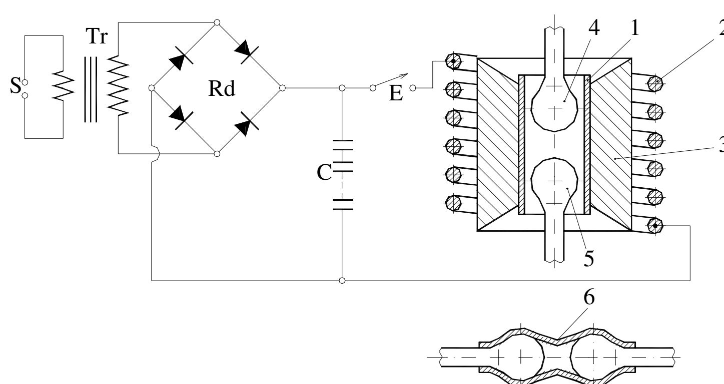


Fig. 5.174. Schema de principiu a prelucrării magnetodinamice:
1- semifabricatul inițial; 2- inductor; 3- concentrator de câmp; 4; 5 – piese ce trebuie asamblate; 6- piesa obținută prin deformare ce realizează asamblarea: S – sursa de alimentare; Tr – transformator de înaltă tensiune; Rd – punte redresoare; C – baterie de acumulatoare; E - eclator.

Impulsul durează 10....20μs şi creează o presiune magnetică de până la $3{,}5 \cdot 10^3$ daN/cm^2. Este deci o deformare cu viteze foarte mari de deformare şi nu se produce practic variația grosimii materialului, nu apar modificări structurale şi fenomenul de ecruisare.

Procedeul se aplică cu rezultate deosebite la operațiile de asamblare, etanşare, deformare a pieselor tubulare (gâtuire, evazare, bordurare, umflare etc.), precum şi a pieselor plane pentru operații complexe de deformare (de exemplu, membranele elastice de la aparatura pneumatică şi hidraulică).

5.11.4.6. Prelucrarea prin explozie a tablelor

Procedeul are la bază efectul undei de şoc ce ia naştere prin detonarea unui exploziv, efect ce se transmite prin mediul de contact până la semifabricatul de deformat, obligându-l să ia forma matriței. Explozivii întrebuințați pot fi:

- lenți (propulsori), care dezvoltă presiuni de ordinul 30 daN/mm^2 şi viteze de propagare de ordinul 300...240 m/s;

- brizanți (violenți), care dezvoltă presiuni de ordinul 3 000 daN/mm^2 şi viteze de propagare de ordinul 1 200...7 500 m/s;

Prelucrarea prin explozie se poate realiza în două variante:

- fără contact între sursa de energie şi semifabricat;

- cu contact între sursa de energie şi semifabricat.

După natura mediului în care are loc transmiterea undei şoc, deformarea se poate face:

- în mediu gazos (aer), la care presiunea transmisă în diferitele zone ale semifabricatului este diferită ca distanță;

- în mediu lichid (în apă), la care presiunea transmisă este uniformă în oricare zonă a semifabricatului;

- în mediu solid (în nisip), la care se face o transmitere mai slabă a energiei spre semifabricat.

Cea mai rațională prelucrare prin explozie este cea care foloseşte apa ca mediu de transmitere a energiei undei de şoc spre semifabricat (fig. 5. 175).

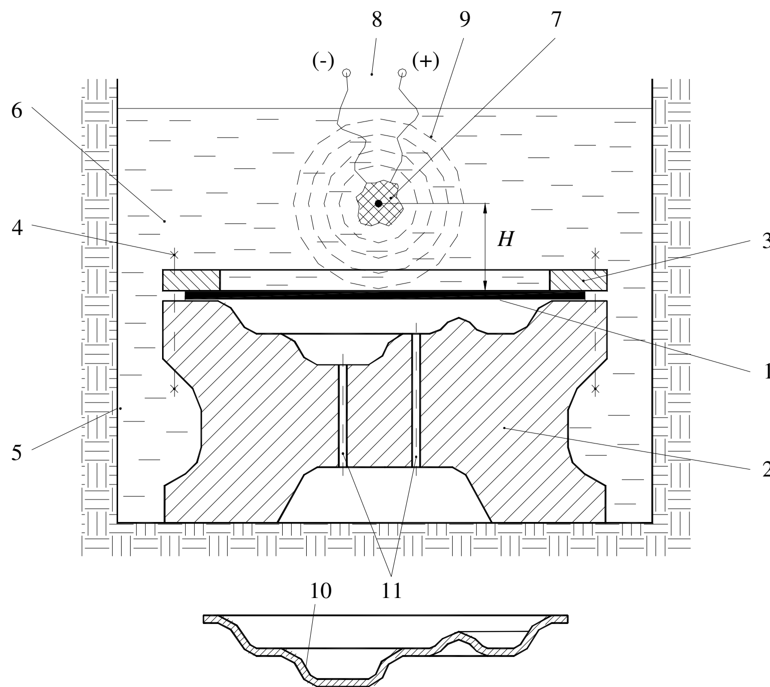


Fig. 5.175. Schema de principiu la prelucrarea prin explozie:
1- semifabricatul inițial; 2- matriță; 3 - inel de reținere; 4 – sistem de fixare; 5 - groapă în sol; 6 - apă; 7 – exploziv; 8 - detonator; 9 - unda de şoc; 10 - piesa finită; 11 - canalele de evacuare a aerului.

Semifabricatul inițial 1 se aşează pe matrița 2, fiind apăsat de inelul de reținere 3 fixat de matriță prin sistemul de fixare 4. Ansamblul se plasează într-o groapă 5 care se umple cu apa 6. La distanța H de semifabricat se plasează explozivul 7 legat la detonatorul 8. La detonarea explozivului apare o undă de şoc 9 care creează o presiune p, dată de relația:

$$p = k\left(\frac{G^{\frac{1}{3}}}{H}\right)^2 \text{ [daN/cm}^2\text{]} , \qquad (5.242)$$

în care: G este greutatea încărcăturii explozive, în kg; H – distanța de la încărcătură la locul unde se transmite unda de presiune, în m; k – coeficientul de corecție al încărcăturii funcție de natura explozivului (k = 0,59, pentru explozivi lenți şi k = 1,12, pentru explozivi brizanți).

Presiunea creată va obliga semifabricatul să ia forma matriței, rezultând piesa finită 10. Pentru a evita spargerea matriței sunt prevăzute canalele de evacuare a aerului 11.

Parametrii de care depinde procesul de deformare sunt: mărimea şi forma încărcăturii explozive; distanța de la încărcătură la semifabricat; modul de transmitere a presiunii şi construcția matrițelor.

Forma încărcăturii (sferică, inelară, cilindrică, paralelipipedică etc.) se alege în funcție de forma piesei ce trebuie realizată.

Construcția matrițelor se face în conformitate cu forma piesei şi cu durabilitatea necesară, în funcție de numărul de piese ce trebuie realizat. Matrițele folosite sunt simple şi se pot confecționa din lemn, beton armat, răşini epoxidice sau fontă, oțel (pentru piese care necesită presiuni foarte mari de deformare).

Procedeul este rentabil pentru prelucrarea prin deformare a unor piese din tablă de diametre foarte mari (peste 10…15 m) şi grosimi de până la 80 mm, dar şi pentru piese mici de configurație complexă, confecționate din materiale cu plasticitate foarte scăzută.

5.11.4.7. Prelucrarea tablelor în câmp ultrasonor

Procedeul foloseşte efectele ce apar ca urmare a suprapunerii energiei ultrasonore peste energia de deformare şi anume:

- *efectul de înmuiere acustică*, ce constă în micşorarea substanțială a rezistenței la deformare cu 40…60% şi creşterea proprietăților de plasticitate cu 20….50%;

- *efectul de suprafață*, ce constă în reducerea substanțială a frecării de contact la interfața semifabricat-sculă de deformare cu 30…80%.

În funcție de configurația geometrică a piesei şi tipul prelucrării există mai multe variante de prelucrare, în funcție de modul de introducere a energiei ultraso-

nore în focarul de deformare, astfel:

- cu activarea ultrasonică a sculei de deformare sau tăiere;
- cu activarea ultrasonică a semifabricatului aşezat pe placa activă;
- cu activarea ultrasonică simultană şi a sculei şi a semifabricatului.

Schema de principiu a unei prelucrări prin ambutisare în câmp ultrasonor se prezintă în figura 5.176. Semifabricatul 1 se aşează pe matriţa 2 şi este deformat cu ajutorul poansonului 3. Poansonul face corp comun cu concentratorul de energie ultrasonoră 4, care este legat de transductorul ultrasonor 6 prin intermediul flanşei nodale 5. Transductorul ultrasonor converteşte oscilaţiile electrice ale generatorului electric de înaltă frecvenţă 7, în oscilaţii mecanice cu frecvenţă ultrasonoră (cu frecvenţa peste 16 kHz). Transductorul este în permanenţă izolat acustic 8 şi răcit printr-un sistem de răcire 9.

Procedeul se aplică în cazul prelucrării unor materiale greu sau imposibil de prelucrat prin procedeele clasice. Se obţin produse cu o calitate foarte bună a suprafeţei, în condiţiile unei uzuri reduse a sculelor şi a unei productivităţi sporite.

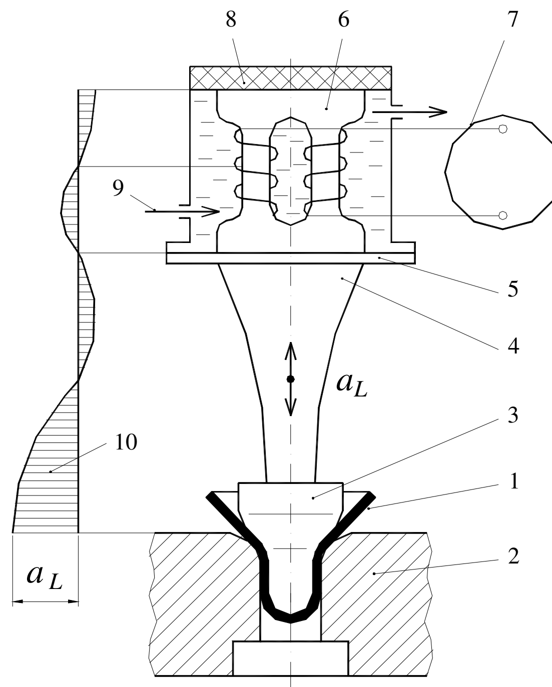
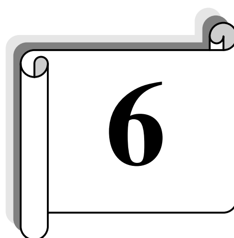


Fig. 5.176. Schema de principiu a ambutisării în câmp ultrasonor:
1- semifabricatul iniţial; 2 - matriţa; 3 - poansonul; 4 - concentratorul de energie ultrasonoră; 5 – flanşa nodală ; 6 - transductorul ultrasonor; 7 – generatorul de înaltă frecvenţă; 8 - izolantul acustic; 9 – sistemul de răcire; 10 – diagrama de variaţie a amplitudinii vitezei particulei materiale a_L.

Observație. Este de aşteptat ca pe măsura apariției de noi materiale cu proprietăți deosebite să apară şi alte procedee speciale de prelucrare a acestor materiale, în vederea obținerii de piese din table. Oricum, aceste procedee de prelucrare se dezvoltă din ce în ce mai mult în industria constructoare de automobile (caroserii, şasiuri, uşi, capote etc.), industria chimică (funduri pentru recipienți, calote semisferice pentru recipienții sferici etc.), industria bunurilor de larg consum (ambalaje, obiecte de uz casnic, carcase de protecție etc.), industria constructoare de maşini (carcase, rezervoare, capace, asamblări etc.), industria constructoare de nave spațiale (piese de forme complexe din materiale greu prelucrabile realizate printr-o singură operație), industria medicamentelor (închiderea ermetică a medicamentelor), în tehnica militară şi energetica nucleară.



OBȚINEREA PIESELOR PRIN SUDARE

6.1. GENERALITĂȚI

Sudarea este o metodă tehnologică de obținere a unei îmbinări ***nedemontabile*** *dintre două corpuri solide, prin realizarea unor forțe de legătură între atomii marginali ai suprafețelor de îmbinat, în anumite condiții de temperatură şi/sau presiune.*

Sudarea, ca metodă de asamblare nedemontabilă, este folosită din cele mai vechi timpuri, dar numai la sfârşitul secolului al XIX-lea încep să apară din ce în ce mai multe procedee de sudare, cerute de dezvoltarea rapidă a industriei şi în general a tuturor ramurilor tehnicii. În anul 1882, inventatorul N. Bernados a realizat, pentru prima oară, o îmbinare sudată prin topire cu arc electric, în condiții de laborator, iar în anul 1907 Kjellberg propune protejarea băii de sudare folosind electrozi metalici înveliți. Între anii 1930 – 1935, se dezvoltă procedeul de sudare sub strat de flux, iar în anul 1935 se aplică folosirea gazelor la protecția băii de sudură. Între anii 1950 – 1952 se perfecționează procedeul de sudare în baie de zgură topită, pentru ca după anul 1960 să se dezvolte procedeul de sudare cu plasmă. Între anii 1970 – 1972, se dezvoltă şi se perfecționează sudarea cu fascicul de electroni şi în 1974, procedeul de sudare cu fascicul de fotoni.

Dezvoltarea în timp a sudării şi a utilajului folosit la sudare a fost determinată, în primul rând, de cerințele industriei şi în special de cea a industriei constructoare de maşini. Se poate afirma însă că aproape nu există ramuri ale industriei în care să nu–şi găsească utilizare diferite procedee de sudare sau care să nu necesite noi procedee de sudare (peste 42% din producția mondială de oțel este

folosită la realizarea de structuri sudate).

Realizarea unor nave maritime, avioane, bunuri de larg consum, rezervoare, recipienți, utilaje pentru centrale nucleare şi energetice, poduri, complexe metalurgice, mari căi navigabile, metrouri, construcții metalice etc., nu ar fi posibile fără existența unor procedee de sudare.

Sudarea poate fi aplicată astăzi unui număr foarte mare de materiale (oțeluri carbon şi oțeluri aliate, metale şi aliaje neferoase, mase plastice, sticlă, ceramice, materiale compozite etc) având grosimi ce variază de la câțiva microni până la câțiva metri. Această largă aplicabilitate este datorată principalelor avantaje tehnico-economice pe care sudarea le are în comparație cu alte procedee tehnologice (turnarea, forjarea, nituirea etc.) şi anume:

- realizează însemnate economii de material (20…60%), precum şi o rezistență mai mare față de nituire;
- calitatea superioară a îmbinărilor sudate şi condițiile de muncă mai bune în care se realizează acestea au determinat înlocuirea în ultimii ani a nituirii în proporție de peste 95%;
- permite realizarea unor construcții mai uşoare şi de formă constructivă mai simplă, adaosurile de prelucrare şi cele tehnologice fiind mai mici cu 70…90% față de cele de la turnare şi forjare;
- permite mecanizarea şi automatizarea completă a operațiilor tehnologice şi reducerea substanțială a timpilor tehnologici;
- permite realizarea de construcții mixte sau combinate, formate din mai multe părți executate separat, din materiale total diferite, prin procedee de prelucrare diferite şi apoi asamblate prin sudare;
- realizează economie de manoperă (30…75% față de turnare) şi îmbunătățirea condițiilor de lucru;
- foloseşte utilaje mai simple, mai ieftine şi mai uşor de întreținut, permițând realizarea de construcții care să satisfacă şi condiții de etanşeitate (rezervoare, schimbătoare de căldură, construcții navale, reactoare etc.).

Principalele dezavantaje sunt legate de forma, dimensiunile semifabricatelor şi alegerea materialelor, precum şi de mărimea lotului de fabricație, astfel:

- nu este eficientă în cazul unei producții de serie mare sau serie diversificată la piese de gabarite şi greutăți mici;
- calitatea îmbinărilor sudate depinde în mare măsură de calitatea materialelor utilizate şi de modul de alegere a acestora;
- de multe ori produsele obținute prin sudare necesită tratamente termice, deci un consum mai mare de energie;
- majoritatea îmbinărilor sudate necesită un control nedistructiv riguros;
- necesită o calificare şi o specializare continuă a personalului de execuție;
- procedeele de sudare de mare productivitate necesită utilaje complicate, greu de întreținut, cu regimuri de lucru pretențioase.

6.2. PRINCIPIUL FIZIC AL SUDĂRII

Atomii dispuşi pe suprafaţa unui corp au legături libere care pot interacţiona cu atomii de pe suprafaţa altui corp, cu care vin în contact, dacă sunt îndeplinite anumite condiţii. Principala condiţie ce trebuie îndeplinită este distanţa de apropiere dintre cele două corpuri, care trebuie să fie de ordinul razelor atomice (10^{-10} m).

Această condiţie se poate realiza în mai multe moduri:

- *prin încălzirea părţilor de îmbinat alăturate,* care conduce la o creştere a mobilităţii atomilor, o slăbire a forţelor de legătură dintre atomi şi o creştere a plasticităţii materialelor;
- *prin exercitarea unei presiuni între părţile de îmbinat,* care să conducă la deformaţii plastice însoţite de curgerea materialelor de–a lungul suprafeţelor în contact şi prinderea lor reciprocă;
- *prin încălzirea şi presarea simultană sau succesivă a părţilor de îmbinat,* care să utilizeze toate fenomenele prezentate la primele două moduri de acţiune.

Dacă încălzirea este suficient de mare, topind material din marginile ambelor piese, ea poate realiza singură sudarea, după cum şi dacă presiunea este suficient de mare, se poate realiza sudarea prin deformarea plastică la rece. Mecanismul apariţiei forţelor de legătură, între părţile de sudat, depinde în cea mai mare măsură de starea de agregare în care se găsesc acestea, deosebindu–se următoarele situaţii distincte:

- *ambele părţi sunt în stare lichidă*, când formarea legăturii depinde de solubilitatea reciprocă, mărimea tensiunii superficiale, diferenţa de densitate şi de alte proprietăţi fizice;
- *ambele părţi sunt în stare solidă*, când formarea legăturii depinde de starea suprafeţelor în contact (forma microneregularităţilor), de dizolvarea de gaze, de defectele de structură, de formarea instantanee de pelicule monomoleculare şi de unele proprietăţi fizice;
- *o parte în stare solidă şi cealaltă în stare lichidă*, când formarea legăturii este posibilă doar în anumite condiţii.

6.3. CLASIFICAREA PROCEDEELOR DE SUDARE

Totalitatea operaţiilor tehnologice folosite la un anumit fel de sudare constituie *procedeul de sudare.*

Dată fiind multitudinea mare de fenomene ce apar la sudare şi diversitatea foarte mare de materiale, nu există o clasificare sistematică şi unanim acceptată a

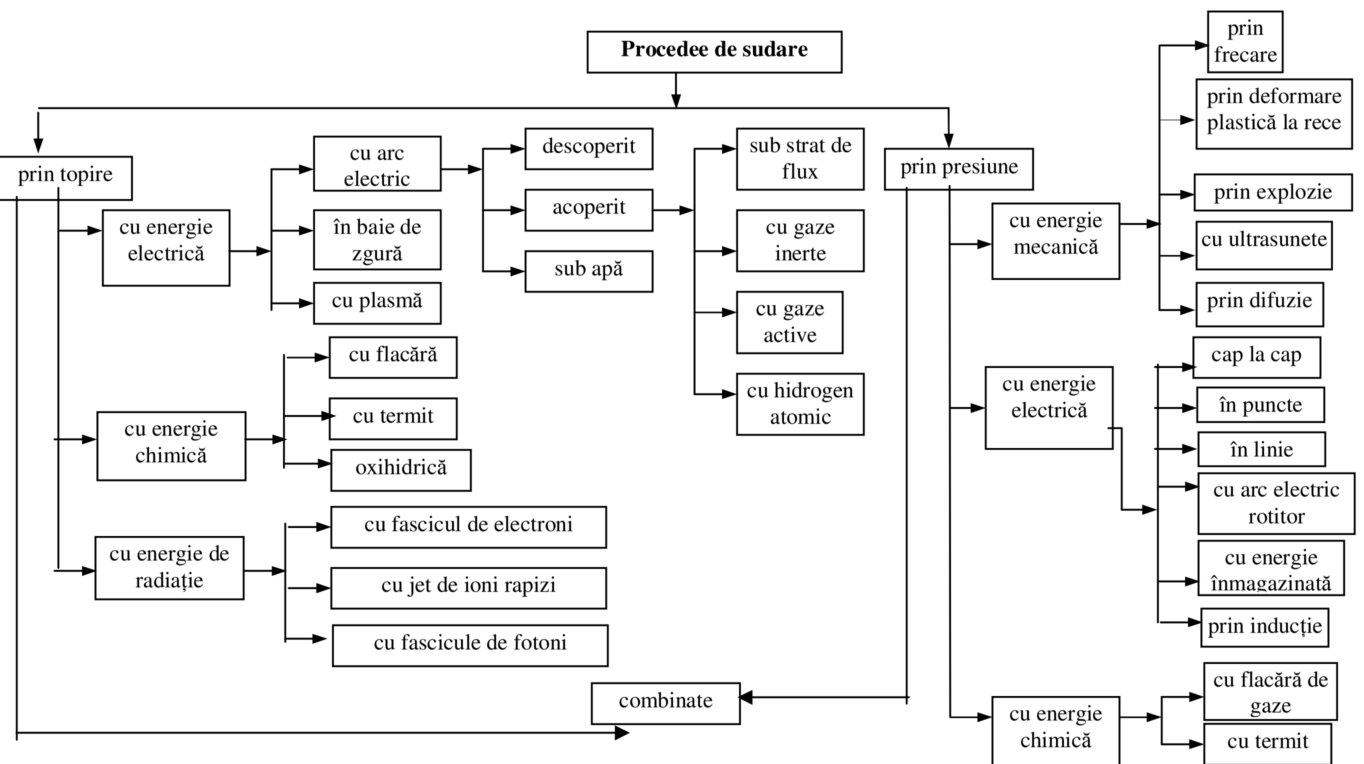


Fig. 6.1 Clasificarea principalelor procedee de sudare.

procedeelor de sudare. Pentru o prezentare mai uşoară şi o abordare comparativă, se poate face o clasificare a procedeelor de sudare după fenomenele fizice care au loc în cadrul procesului de sudare (după modul cum se stabilesc legăturile de coeziune interatomică la marginile pieselor de îmbinat), după natura energiei utilizate pentru încălzire sau presare, după temperatura la care se realizează îmbinarea, după modul de formare a cusăturii, după materialul de adaos folosit etc. O astfel de clasificare a procedeelor de sudare se prezintă în figura 6.1.

6.4. MACROSTRUCTURA ŞI MICROSTRUCTURA UNEI ÎMBINĂRI SUDATE

Sudarea este metoda tehnologică de realizare a unei îmbinări nedemontabile, iar rezultatul sudării este *cusătura sudată* sau *cordonul de sudură.*

Cusătura sudată împreună cu materialele de bază neafectate în procesul de sudare formează *îmbinarea sudată*, numită uzual *sudură.*

Pentru execuția unei îmbinări sudate, marginile piesei de sudat sunt pregătite corespunzător, prin realizarea unui „rost al îmbinării", conform STAS 5555 –71. Elementele componente ale rostului şi denumirile lor sunt prezentate în figura 6.2.

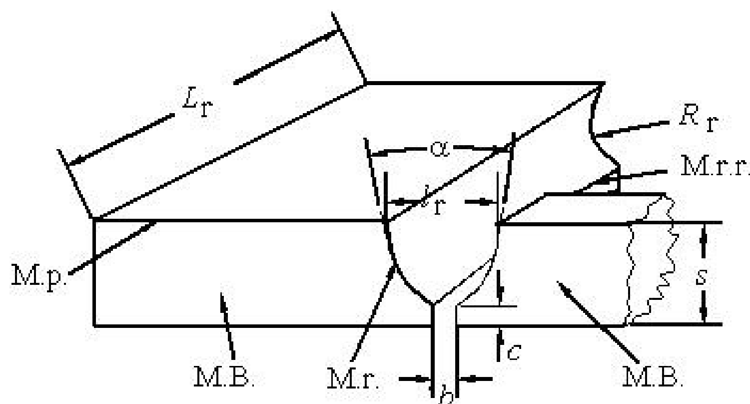


Fig. 6.2. Elementele componente ale rostului:
b - deschiderea rostului; *c* - rădăcina rostului; l_r - lățimea rostului; α - unghiul rostului; L_r – lungimea rostului; M.r. – muchia rostului; M.r.r. – muchia rădăcinii rostului; R_r – raza rostului; M.p. – muchia piesei; M.B. – material de bază.

După depunerea *materialului de adaos* (M.A.) şi solidificarea împreună cu o parte din *materialul de bază* (M.B), rezultă îmbinarea sudată ale cărei elemente componente şi denumirile standardizate sunt prezentate în figura 6.3.

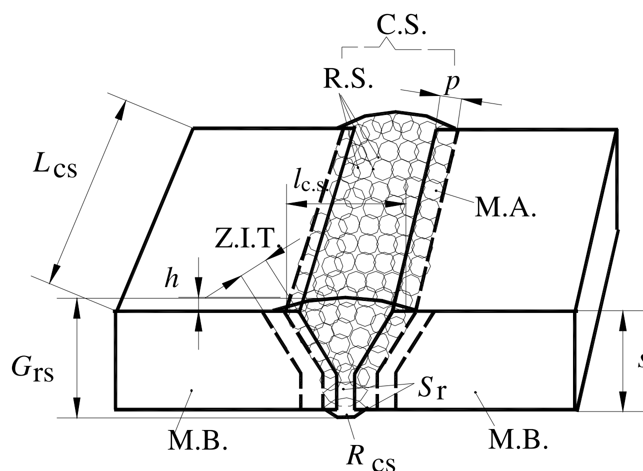


Fig. 6.3. Elementele componente ale unei îmbinări sudate:
M.B. – materialul de bază; M.A. – materialul de adaos; *s* – grosimea teoretică; $G_{r.s}$ – grosimea reală a cusăturii sudate; C.S. – cusătura sudată (cordonul de sudură); $L_{c.s}$ – lungimea cusăturii sudate; $l_{c.s}$ – lățimea cusăturii sudate; R.S. – rânduri de sudură; *p* – pătrunderea; *h* – supraînălțarea (îngroşarea); S_r – strat de rădăcină; R.c.s. – rădăcina cusăturii sudate; Z.I.T. – zona influențată termic.

Din punct de vedere teehnologic, interesează modul în care se realizează cusătura, precum şi extinderea zonei influențate termic (Z.I.T.). Mărimile care caracterizează geometria cusăturii şi a zonei influențate termic se prezintă în figura 6.4.

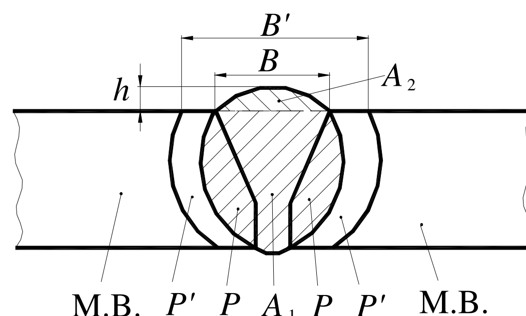


Fig. 6.4. Mărimile ce caracterizează geometria cusăturii sudate:
B – lățimea cusăturii; *B´*– lățimea Z.I.T.; A_1+A_2 = *A* – secțiunea cusăturii; *P* – pătrunderea cusăturii; *P´* – pătrunderea în Z.I.T.; *h* – supraînălțarea.

Forma rostului şi mărimea lui depinde de grosimea pieselor de sudat şi de configurația geometrică a îmbinării. Câteva forme de rosturi de îmbinare şi configurația cusăturilor sudate corespunzătoare se prezintă în tabelul 6.1.

Tabelul 6.1. *Diferite tipuri de rosturi reprezentative*

Nr. Crt.	Denumirea cusăturii sudate	Forma rostului	Forma îmbinării	Grosimea materialului de bază, s[mm]	Dimensiunile rostului			Obs.
					a[mm]	*b*[mm]	*c*[mm]	
0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Sudură în I			Până la 1	-	0...1	-	Se recomandă suport.
				1...3	-	0...3	-	
				Până la 2	-	0...1	-	-
				2...5	-	1...3	-	
2	Sudură în I cu marginile răsfrânte			Până la 4	-	0...2	-	-
3	Sudură în Y			3...20	α= 50°….60°	0...3	-	Valorile mai mari ale unghiului sunt pentru sudarea peste cap.
4	Sudură în V			3...20	α= 50°….60°	0...3	1...3	Se recomandă pentru prelucrarea mecanică a marginilor.
5	Sudură în Y pe suport			>6	β=8°...12°	4..8	-	Suport de oțel.

Tabelul 6.1. (*continuare*)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	Sudură in X	α_1, α_2, *b*, *c*, *s*, *h*		12...40	α_1=50°….60° α_2=50°….60°	1..3	0...2	α_2>60^0 se aplică la sudarea nesimetrică *h*≈(1/2-1/3)*s*
7	Sudură în U	β, *r* =1,6, *c*, *s*, *b*		≥15	β= 8°...12°	0...3	1,5...3,5	-
8	Sudură în U (specială)	β, *r* =1,6, *c*, *s*, *b*		>40	β= 8°...12°	0...3	1,5...3,5	h_1≈*s*/2
9	Sudură în dublu U	β, r =1.6, *c*, *s*, *h*, *b*		≥30	β= 8°...12°	0...3	2...4	*h*≈(1/2-1/3)*s*
10	Sudură în dublu U (specială)	β, *r*, *c*, *s*, *b*		>80	β= 8°...12°	0...3	2...4	h_1≈*s*/8

Tabelul 6.1. (*continuare*)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
11	Sudură în ½ V	β, s, b, c		4...20	β=45°...60°	0...3	0...3	Se recomandă completare a la rădăcină.
12	Sudură în ½ U	β, s, b, c		>15	β=16°...20°	0...3	1,5...3,5	Se recomandă completare a la rădăcină.
13	Sudură în K	β, b		12...40	β=45°...60°	0...3	0...2	-
14	Sudură dublă în ½ U	β, b		>30	β=16°...20°	0...3	1,5..3,5	-
15	Sudură pe colț cu marginile suprapuse	b, s		>2	-	0...2	-	-

Tabelul 6.1. (*continuare*)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
16	Sudură pe colț	b, α, s		>2	-	0...2	-	-
17	Sudură pe muchie	b, α, b, s, s		>2	60...120	0...2	-	-
18	Sudură pe muchie, grosimi diferite	s_1, s_2, a		s_2>2	-	-	-	Se admite până la 2 mm s_2>s_1 $a \geq s_1$.

Microstructural, zona îmbinării sudate este diferită ca structură de materialul de bază, în funcție de modul cum a fost realizată cusătura (prin topire, prin presiune sau combinat). În cazul obținerii unei cusături sudate prin topire, cu material de adaos, cusătura înglobează pe lângă acesta şi materialul topit din materialul de bază, rezultând *baia de sudură*, care intră în reacții chimice cu elementele din mediul înconjurător (gaze, fluxuri, zgură etc.). Baia de sudură poate îngloba prin absorbție oxigen, care dă naştere la oxizi (incluziuni), hidrogen, care uşurează apariția fisurilor, şi azot, care formează nitruri ce conduc la fragilizarea cusăturii. De asemenea, baia de zgură poate pierde elemente ca Si, Mn, C, Cr etc., prin reacții de oxidare, după cum poate să şi primească elemente de aliere.

Ca urmare a procesului de încălzire şi răcire, în materialul de bază, în dreapta şi în stânga cusăturii sudate se produc transformări structurale care diferă de modul în care a fost realizată cusătura sudată şi de natura materialelor de sudat. De exemplu, transformările suferite de un oțel carbon obişnuit cu 0,2%C într-o îmbinare sudată obținută prin topire, se prezintă în figura 6.5. Se constată mai multe zone distincte:

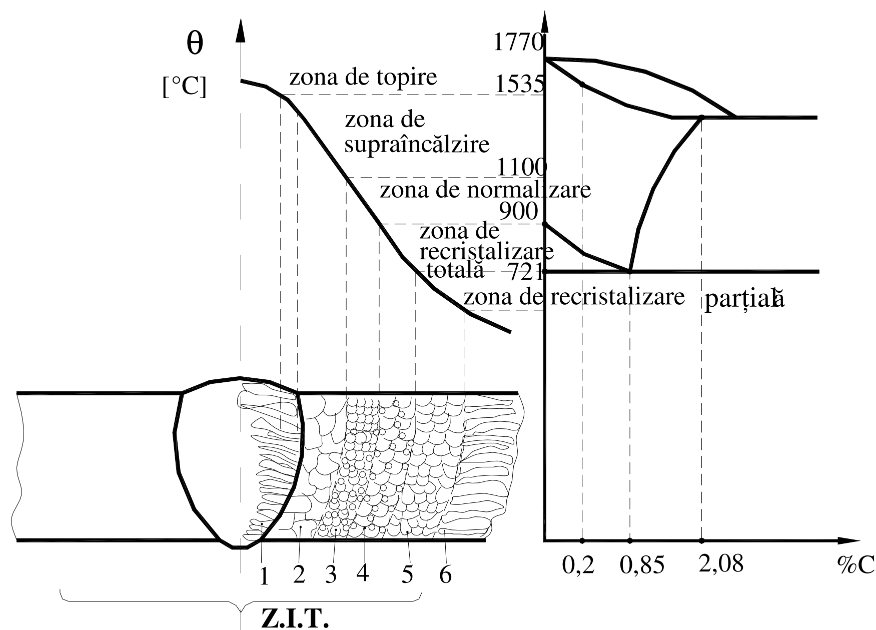


Fig. 6.5. Transformările structurale ale unui oțel carbon cu 0,20%C, ca urmare a procesului de încălzire şi răcire din timpul realizării cusăturii sudate:
1 – cusătura sudată; 2 – zonă de supraîncălzire; 3 – zonă de normalizare; 4 – zonă de recristalizare parțială; 5 – zonă de recristalizare totală; 6 – metalul de bază.

- *zona cusăturii sudate* 1, cu structură dendritică, tipică de turnare;

- *zona de supraîncălzire* 2, ce apare la temperaturi de peste 1 100°C, cu structură grosolană (grăunți mari) deformabilă, cu lățimea de 0,5…1,5mm şi proprietăți fizico - mecanice deosebit de scăzute;
- *zona de normalizare* 3, ce apare le temperaturi de 900…1 100°C, cu structură granulară fină şi uniformă, cu lățimea de 0,5…1,0 mm şi proprietăți fizico- mecanice deosebit de bune;
- *zona de recristalizare parțială* 4, ce apare la temperaturi de 721…900°C cu o structură neomogenă (grăunți mari de ferită şi grăunți mici de perlită), cu lățimea 1,0…1,5 mm şi proprietăți fizico-mecanice reduse;
- *zona de recristalizare 5,* ce apare la temperaturi de 500…721°C (dacă materialul de bază se găsea înainte de sudare în stare ecruisată) cu o structură omogenă, grăunți echiaxiali, cu lățimea de 1,5…2,5 mm şi proprietăți fizico-mecanice bune.

Structurile rezultate în îmbinarea sudată au calitate înrăutățită cu excepția zonei 3, de aceea distrugerea sudurilor are loc cel mai adesea în zona influențată termic (Z.I.T.) şi mai ales în zona 2. Zonele menționate mai sus şi transformările structurale arătate se produc în cazul în care s-a depus un singur rând de sudură. Dacă peste primul rând de sudură se depun alte rânduri, atunci toate zonele şi în special baia de sudură suferă transformări favorabile, deoarece se produce o mărunțire a cristalelor şi, deci, o îmbunătățire substanțială a caracteristicilor fizico – mecanice, în special a celor de tenacitate. De aceea, la lucrările importante, pentru sudarea materialelor cu grosimi mari, se recomandă sudarea în *straturi multiple.*

La sudarea prin presiune, când încălzirea se face la temperaturi mai mici şi lipseşte materialul de adaos, rezultă o structură mai simplă. Deoarece procesul de sudare durează puțin, nu apar diferențe mari de compoziție chimică, dar apar modificări structurale în jurul cusăturii sudate, caracterizate prin grăunți mari, structură în afară de echilibru şi cu proprietăți fizico-mecanice inferioare.

6.5. SUDABILITATEA (COMPORTAREA LA SUDARE) MATERIALELOR

6.5.1. Generalități

Sudabilitatea unui material este proprietatea tehnologică definită prin aptitudinea acestuia de a forma o îmbinare nedemontabilă prin sudare, în anumite condiții date, care să corespundă condițiilor impuse în exploatare din trei puncte de vedere: ***metalurgic, constructiv şi tehnologic***. Sudabilitatea este condiționată atât de proprietățile materialului (compoziția chimică, structura, tehnologia de prelucrare anterioară), cât şi de modul în care se realizează sudarea (schema

constructivă, configurația geometrică, concepția îmbinării sudate, execuția propriu – zisă). Ținând cont de aceste aspecte un material se poate caracteriza prin:

- *sudabilitate metalurgică* (comportare metalurgică la sudare), ce se referă la transformările structurale şi schimbările proprietăților fizice, chimice şi mecanice care au loc sub influența sudării în îmbinarea sudată;

- *sudabilitate constructivă* (comportare constructivă la sudare), ce se referă la influența configurației geometrice a ansamblului sudat şi a sudurilor asupra rezistenței la solicitări termice şi corozive;

- *sudabilitate tehnologică* (comportare tehnologică la sudare), ce se referă la complexitatea condițiilor tehnologice ce trebuie îndeplinite în fazele de pregătire şi de execuție a sudării, precum şi în fazele de tratament termic şi prelucrare după sudare.

6.5.2. Încercări pentru determinarea sudabilității

Pentru determinarea sudabilității unui material nu există o metodă cantitativă ştiințifică unanim acceptată, pentru aprecierea ei existând însă prescripții şi criterii de apreciere care diferă de la o țară la alta.

Determinarea sudabilității se face în urma unor încercări laborioase asupra materialului de bază, asupra cusăturii sudate şi asupra îmbinării sudate. Câteva din încercările pentru determinarea sudabilității la metale şi aliaje sunt:

- *încercarea durității sub cordon* – ce constă în depunerea unui cordon de sudură cu electrodul (metalul de adaos) de cercetat pe o epruvetă din materialul de bază de cercetat şi în măsurarea durității folosind metoda Vickers cu 10kgf (HV10) conform figurii 6.6:

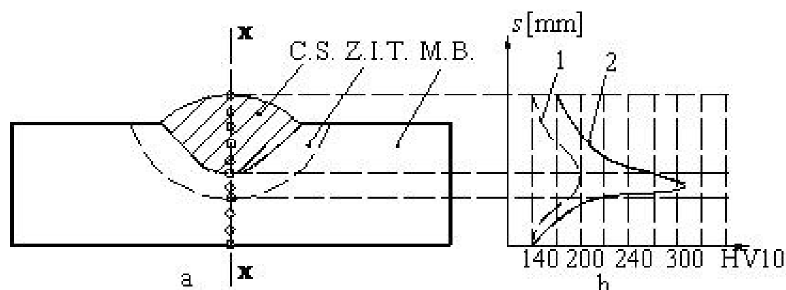


Fig. 6.6. Măsurarea durității sub cordon la un oțel cu 0,15%C, 2,3%Ni şi 0,22%Mo:
a – o secțiune prin îmbinarea sudată; b – curbele de variație a durității în cusătura sudată (C.S),zona influențată termic (Z.I.T) şi metalul de bază (M.B); 1 – în condiții obişnuite; 2 – cu preîncălzire.

Dacă duritatea măsurată după axa X - X nu depăşeşte valoarea de 350 HV10 de duritate, se consideră că materialul are o sudabilitate bună, iar în cazul când se depăşeşte această valoare sunt necesare anumite măsuri tehnologice care să

evite creşterea durităţi: preîncălzirea materialului, mărirea sau micşorarea diametrului electrodului cu care se sudează etc. Duritatea creşte odată cu creşterea conținutului de carbon, existând mari diferențe între metalul de bază şi zona influențată termic (fig. 6.7). Se constată că sudabilitatea este bună necondiționată sub 0,25%C;

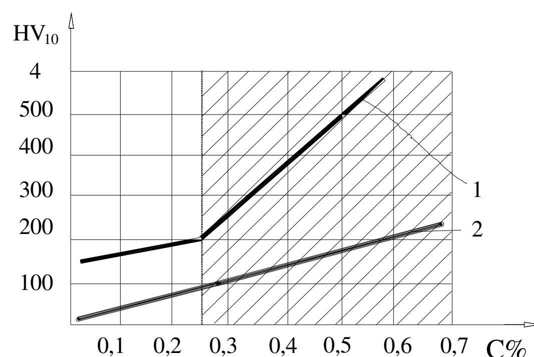


Fig. 6.7. Variația durității oțelurilor carbon obişnuite în funcție de %C:
1 – în zona influențată termic; 2 – în materialul de bază aflat în stare recoaptă.

- *încercarea Kommerell* – ce constă în depunerea unui cordon de sudură într-un şanț frezat (fig 6.8. a) printr-o singură trecere cu ajutorul unui electrod rutilic de 4,0 sau 5,0 mm în lungul probei (fig.6.8. b). Epruveta se supune la încovoirea statică (fig.6.8. c) la temperatura de +20°C şi se determină unghiul de rupere şi aspectul suprafeței de rupere. Se consideră că dacă pentru o epruvetă de $50 \times 50 \times 5$ mm se obține un unghi de îndoire $\alpha = 50°$, fără apariția fisurilor, oțelul respectiv este sudabil.

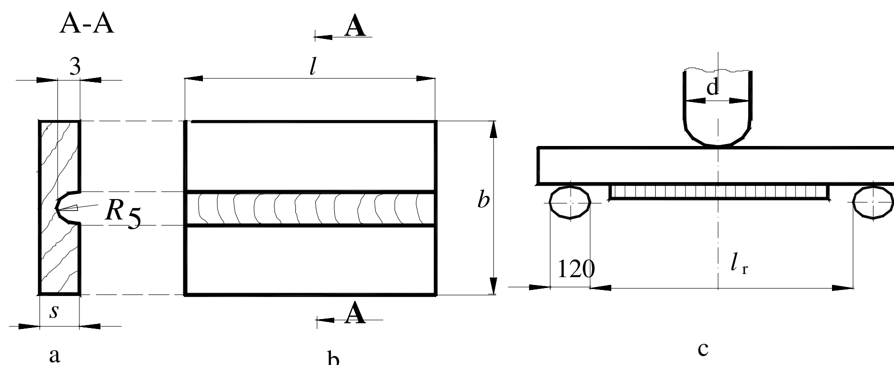


Fig. 6.8. Încercarea Kommerell:
a – epruvetă; b – depunerea cordonului de sudură; c- încercarea de încovoiere.

Oțelurile cu o sudabilitate necorespunzătoare prezintă o ruptură casantă la unghiuri mici de îndoire (α = 5...10°). Încercarea dă rezultate foarte bune la grosimi mari (s >20,0mm);

- *încercarea cu sudură circulară* – ce are drept scop determinarea sensibilității la fisurare a metalului de bază. Încercarea se execută pe o epruvetă sub forma unui disc cu diametrul de 100 mm şi grosimea de 25 mm teşit circular în V sau X, aşezat în mijlocul unei plăci pătrate cu latura de 212 mm (fig. 6.9. a). După executarea sudurii pe contur circular, aceasta se curăță şi se atacă chimic pentru a pune în evidență eventualele fisuri. Încercarea se poate face şi pe o placă de 50 × 50 mm şi groasă de 12,5 mm în care se execută un canal circular, în timp ce proba se răceşte cu jet de aer. După pregătirea corespunzătoare a suprafețelor se face un atac chimic sau se folosesc lichide penetrante pentru a pune în evidență eventualele fisuri. Încercarea dă indicație asupra sudabilității atât a materialului de bază, cât şi a materialelor de adaos;

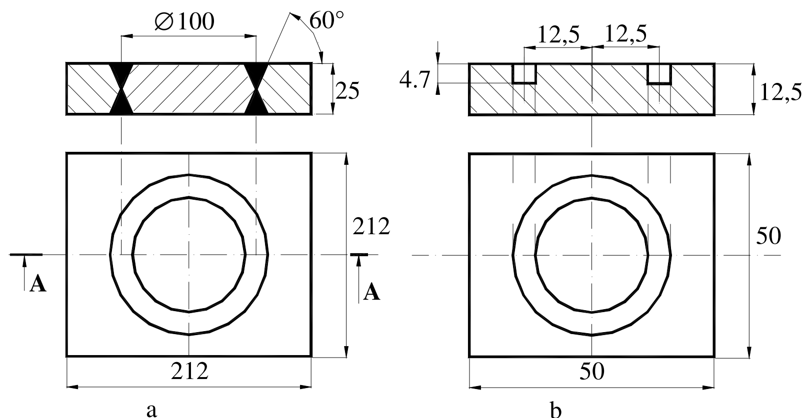


Fig. 6.9. Încercarea cu sudură circulară:
a – pe epruvetă 212 × 212 × 25 mm; b – pe epruvetă de 50 ×50 × 12,5 mm.

- *încercarea M.V.T.U. (Bauman)* – ce permite determinare sudabilității oricărui oțel, precum şi regimul optim de sudare al acestuia. Încercarea constă în depunerea unui cordon de sudură cu un regim termic cunoscut pe o epruvetă având grosimea de 12...18 mm şi dimensiunile din figura 6.10.

Operația se repetă pe o altă epruvetă cu un alt regim de sudare (modificând de exemplu energia liniară de sudare) şi din probele astfel sudate se prelevează epruvete pentru încercarea la tracțiune, la înconvoirea prin şoc, îndoire precum şi studii metalografice. Epruvetele necesare încercărilor au forma şi mărimea standardelor în vigoare. Încercarea este complexă, dar dă indicații asupra comportării metalului de bază la supraîncălzire, asupra gradului de durificare a sudurii şi a zonei influențate termic, asupra modificării structurale în metalul de

bază şi în sudură şi asupra schimbărilor proprietăților elasto-plastice ale îmbinării sudate.

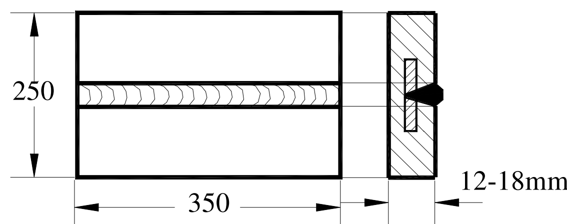


Fig. 6.10. Încercarea M.V.T.U. (Baumann).

6.5.3. Sudabilitatea oțelurilor

Oțelurile au aptitudini diferite de a forma îmbinări sudate.

Determinarea sudabilității oțelurilor se poate face ținând cont de modul cum influențează fiecare element de aliere proprietățile funcționale şi tehnologice ale acestora, astfel:

- *carbonul* are influență deosebită asupra proprietăților mecanice, dar şi asupra sudabilității. Cu creşterea conținutului de C apar componenții structurali de călire cu o duritate şi fragilitate ridicată, ceea ce favorizează producerea fisurilor în îmbinarea sudată. Deci, cu cât conținutul de carbon este mai mare, scade sudabilitatea, de aceea pentru construcții sudate de importanță mare se recomandă oțeluri cu conținut de carbon mai mic de 0,25%;

- *siliciul* măreşte limita de elasticitate, este un bun dezoxidant şi măreşte rezistența oțelului (în cantități mai mici de 0,3%). Cu creşterea conținutului de Si, creşte însă şi fragilitatea oțelului, şi oțelurile cu mult Si (peste0,7%) sunt greu sau imposibil de sudat;

- *manganul* conduce la mărirea rezistenței şi plasticității oțelului şi reduce tendința de producere a stropilor la sudare, până la un conținut de 1,8%. Creşterea conținutului de Mn peste această limită măreşte sensibilitatea de călire a oțelului şi favorizează producerea şi propagarea fisurilor;

- *sulful* influențează negativ sudabilitatea favorizând fisurarea la cald;

- *fosforul* influențează negativ sudabilitatea favorizând fisurarea la rece;

- *molibdenul* determină o mărire a rezistenței la rupere a oțelului la cald şi reduce tendința de fisurare la cald;

- *cromul* măreşte sensibilitatea la călire a oțelului şi micşorează plasticitatea îmbinării sudate, deci influențează negativ sudabilitatea.

Pentru a ține cont de influența fiecărui element asupra sudabilității s-a introdus o metodă analitică de *determinare a conținutului de carbon echivalent (Ce%)*, folosind relația:

$$\%Ce = \%C + \frac{\% \cdot P}{2} + \frac{\% \cdot M0}{4} + \frac{\% \cdot Cr}{5} + \frac{\% \cdot Cn}{13} + \frac{\% \cdot Ni}{15} + 0{,}0024 \cdot s \quad , \qquad (6.1)$$

în care *s* este grosimea tablei de sudat, în mm.

Dacă se consideră un indice de sudabilitate într-o scară convențională cu note de la 1…10, sudabilitatea unui oțel nealiat sau slab aliat, în funcție de carbonul echivalent, calculat cu relația (6.1), se prezintă în figura 6.11.

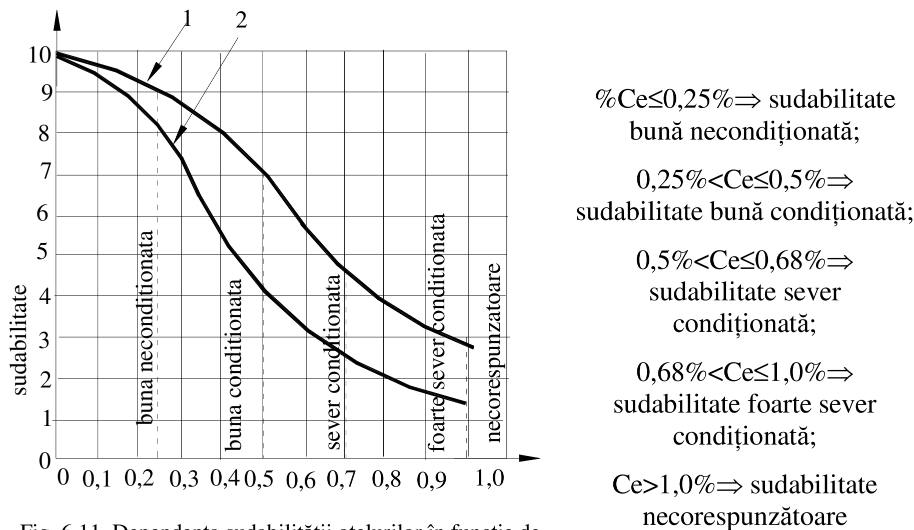


Fig. 6.11. Dependența sudabilității oțelurilor în funcție de conținutul de carbon echivalent:
1 – la procedeele de sudare cu flacără oxigaz; 2 – la procedeele de sudare cu arc electric.

%Ce≤0,25%⇒ sudabilitate bună necondiționată;

0,25%<Ce≤0,5%⇒ sudabilitate bună condiționată;

0,5%<Ce≤0,68%⇒ sudabilitate sever condiționată;

0,68%<Ce≤1,0%⇒ sudabilitate foarte sever condiționată;

Ce>1,0%⇒ sudabilitate necorespunzătoare

Se obține o sudabilitate bună pentru un conținut de carbon echivalent Ce < 0,5%.Dacă conținutul de carbon echivalent Ce ≥ 0,5% sunt necesare condiții speciale pentru sudare (preîncălzirea, folosirea unor materiale de adaos şi a unor procedee de sudare adecvate, pretensionarea etc.). Clasificarea oțelurilor după sudabilitate se face conform tabelului 6.2.

Tabelul 6.2. *Clasele de sudabilitate*

Clasa de sudabilitate	Comportarea metalurgică-tehnologică-constructivă la sudare	Exemple
1	2	3
I. Bună, necondi-ționată	- nu suferă transformări structurale nefavorabile; - nu sunt sensibile la configurația geometrică a ansamblului sudat și a sudurilor; - pot fi sudate prin toate procedeele de sudare prin topire şi prin presiune, fără restricții speciale.	Oțelurile nealiate, cu UN conținut sub 0,25% C (OL 37, OLC 10, OLC 15, OLT 32 etc.).

Tabelul 6.2. (*continuare*)

II.a Bună, condiționată II.b Sever condiționată	- pot suferi transfomări structurale nefavorabile şi durificări, fac sudura sensibilă la fisurare şi rupere fragilă; - sunt sensibile la configurația geometrică a ansamblului sudat; - pot fi sudate prin toate procedeele de sudare prin topire şi prin presiune, cu condiția respectării unor măsuri tehnologice simple (ex. preîncălzirea la 100…200^0 C).	Oțelurile nealiate, cu un conținut de 0,25…0,30% C; Oțelurile slab aliate; Oțelurile inoxidabile austenitice; (OL 44, OL 50, OCS-1, OCS-2, OCS-3).
III Foarte sever condiționată (posibilă)	- suferă întotdeauna transfomări structurale nefavorabile şi schimbări ale proprietăților fizico-mecanice; - sunt sensibile la configurația geometrică a ansamblului sudat, conducând la fragilitate, sensibilitate la coroziune, rezistență la oboseală scăzută; - pot fi sudate printr-un număr redus de procedee de sudare, cu condiția respectării unor măsuri tehnologice severe.	Oțelurile aliate; Oțelurile inoxidabile feritice şi martensitice; Fontele; Aliajele, neferoase (Al, Cu, Ti, Zr).
IV Necorespun-zătoare	- suferă transformări fizice, chimice şi mecanice total nefavorabile; - sunt sudabile în condiții tehnologice foarte severe şi atunci când este posibil se evită sudarea prin topire	Fontă albă; Wolfram; Oțeluri hipereutectoide.

6.5.4. Sudabilitatea fontelor

Fontele albe şi cele pestrițe se fisurează la sudare. Fontele cenuşii sunt sudabile dacă se creează condițiile unei viteze de răcire reduse prin preîncălzirea pieselor de sudat. Prin preîncălzire se reduc şi tensiunile remanente. Deoarece fontele sunt foarte fluide şi la topire trec relativ brusc în stare lichidă în comparație cu oțelul se pot forma uşor fisuri datorită plasticității foarte scăzute, apar tensiuni interne mari şi datorită gazelor au tendința de a forma porozități. De acea, fontele se sudează numai în poziție orizontală, cu marginile pregătite în V. De asemenea, în baia de sudură se introduc elemente de grafitizare (sub formă de flux sau utilizând sârme de sudură cu un anumit conținut în carbon şi siliciu).

6.5.5. Sudabilitatea metalelor şi aliajelor neferoase

Câteva aprecieri asupra sudabilității metalelor şi a aliajelor neferoase, cu cea mai largă utilizare, vor fi făcute în continuare.

Sudabilitatea cuprului şi aliajelor de cupru depinde în principal de următorii factori:

- conductibilitatea termică şi electrică net superioară față de oțel, ceea ce face ca să se concentreze căldura cu mare greutate;
- coeficientul de dilatație ridicat;
- cantitatea de oxigen şi hidrogen care se absoarbe în timpul procesării.

Pentru a se compensa pierderile mari de căldură, datorită conductibilității

mari, se face o preîncălzire la 470…520^0 K.

Sudabilitatea aluminiului şi a aliajelor de aluminiu este influenţată în principal de următorii factori:

- formarea instantanee a peliculei de Al_2O_3 pe suprafaţă, care împiedică topirea şi se îndepărtează greu;
- conductibilitatea termică mare necesită surse termice concentrate;
- poziţia aliajului faţă de eutectic şi de aici sensibilitatea la fisurare;
- factorii tehnologici (modul de protecţie a băii, procedeul de sudare, parametrii de lucru, tratamentul termic înainte şi după sudare etc.).

Nichelul şi aliajele de nichel sudate sunt folosite mult în industria chimică şi trebuie să aibă o rezistenţă mare la coroziune. Au o sudabilitate bună dacă se utilizează materiale de adaos cu compoziţie chimică apropiată. Aliajele de nichel cu sulf sub 0,02% se pot suda prin orice procedeu.

Magneziul şi *aliajele de magneziu* au o sudabilitate care diferă în funcţie de elementele de aliere, astfel:

- aliajele magneziu–mangan au un interval restrâns de solidificare şi o sudabilitate bună;
- aliajele magneziu–zinc sunt predispuse la formarea fisurilor intercristaline şi au o sudabilitate necorespunzătoare;
- aliajele magneziu–aluminiu au un interval de solidificare mare şi deci o tendinţă accentuată spre fisurare, de acea pot fi sudate numai dacă se foloseşte un material de adaos cu interval de solidificare mai restrâns, care să evite pericolul de fisurare;
- aliajele magneziu–zinc–mangan au o sudabilitate necorespunzătoare.

6.6. MATERIALE DE ADAOS FOLOSITE LA SUDARE

Sudarea poate fi efectuată:

- cu material de adaos, atunci când cusătura sudată se formează şi cu material din afara părţilor de îmbinat;
- fără material de adaos, atunci când cusătura sudată este formată numai din materialele provenite din părţile de îmbinat;

În cazul folosirii materialelor de adaos, pentru a se obţine o cusătură sudată care să-şi îndeplinească rolul funcţional pentru care a fost proiectată, aceasta trebuie să îndeplinească o serie de condiţii:

- să aibă o compoziţie chimică apropiată de cea a materialului de bază sau compatibilă cu aceasta;
- să formeze cusături sudate cu proprietăţi mecanice asemănătoare cu cele ale materialului de bază, cea mai importantă dintre ele fiind rezistenţa la şocuri;
- să conducă prin solidificare la obţinerea de structuri cât mai omogene, cu granulaţie corespunzătoare şi fără constituenţi fragili;

- să fie uşor fuzibil şi uşor prelucrabil;
- să corespundă condițiilor de mediu în care lucrează îmbinarea sudată (temperatură, mediu coroziv, presiuni etc.);
- limita de curgere a materialului de adaos trebuie să fie cu 5…8 N/mm^2 mai mare decât a materialului de bază, la o alungire mai mare de cel puțin 20%;
- rezistența la tracțiune a materialului de adaos trebuie să fie aproximativ egală cu cea a materialului de bază.

Nu trebuie făcute exagerări privind alegerea materialului de adaos, astfel ca proprietățile cusăturii sudate să fie mult mai bune decât cele ale materialului de bază.

În afară de materialul care intră direct în masa metalică a cusăturii sudate (electrozi înveliți, sârme) se consideră drept material de adaos şi acele materiale care contribuie la alierea sudurii (învelişuri, fluxuri). Principalele materiale de adaos folosite se prezintă în figura 6.12.

Gazele protectoare ale băii de sudură şi ale arcului electric nu pot fi considerate materiale de adaos.

6.7. SUDAREA PRIN TOPIRE CU ENERGIE ELECTRICĂ

Pentru încălzirea pieselor în vederea sudării este necesară o energie calorică. Cele mai importante surse electrice de căldură utilizate la sudare sunt descărcările electrice în medii gazoase (arcul electric, arcul şi jetul de plasmă) şi efectul Joule - Lentz.

6.7.1. Formarea şi elementele arcului electric

Arcul electric pentru sudare este o descărcare electrică stabilă, în mediu gazos, la o tensiune relativ mică (de la zeci până la sute de V), cu densități mari de curent (zeci de A/mm^2) şi o lungime mică (de ordinul mm), puterea electrică variind de la câteva zeci de W până la 300kW.

Trecerea curentului electric printr-un spațiu gazos nu este posibilă decât dacă mediul respectiv este ionizat. La sudare este importantă *autoionizarea*.

În metal există electroni liberi, care în mişcarea lor de agitație termică pot să părăsească corpul, formând la suprafața de separație un strat încărcat pozitiv (fig.6.13).Ca urmare a acestui fapt se formează un câmp electric *E*, numit *barieră de potențial*. Ieşirea unui electron din metal este posibilă dacă electronul are o energie *W* suficient de mare pentru a străbate bariera de potențial, adică:

$$W > q_0 \cdot E \cdot \delta, \qquad (6.2)$$

unde: $q_0 = 1{,}59 \cdot 10^{-19}$C este sarcina electronului; $E \cdot \delta = U_{ie}$ este tensiunea de ieşire caracteristică fiecărui metal sau aliaj, în V.

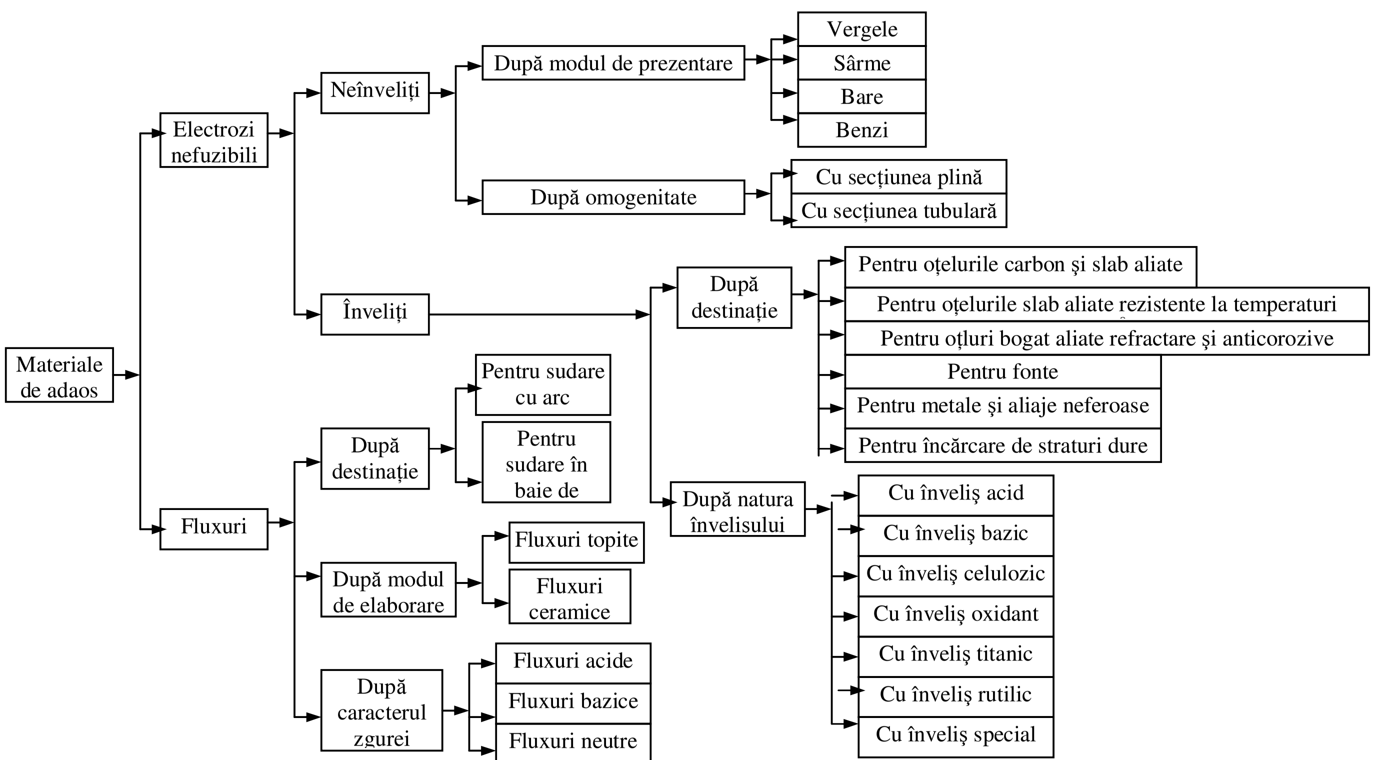


Fig. 6.12. Clasificarea principalelor materiale de adaos.

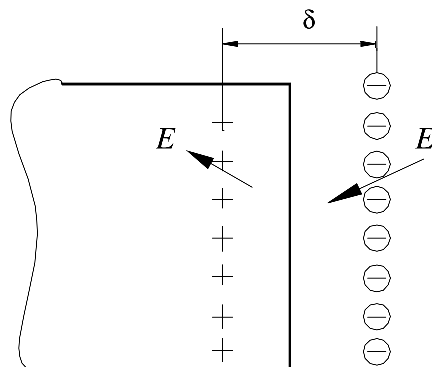


Fig. 6.13. Formarea barierei de potențíal *E*.

Electronii pot obține energia cinetică necesară străbaterii barierei de potențial, în cazul sudării, prin:

– încălzirea metalului la temperaturi înalte (termoemisie);

– bombardarea metalului cu particule având energii mari;

– aplicarea unor câmpuri foarte intense la suprafața limită.

În cazul sudării este importantă bombardarea catodului cu ioni pozitivi proveniți din coloana arcului, care au atât energie potențială E_p^+, cât şi energie cinetică E_c^+.

Cunoscând aceste fenomene, se poate descrie aprinderea arcului electric. Electrodul de sudură 1 se aduce în contact cu piesa 2 (fig.6.14.) şi astfel, prin suprafața de contact, trece un curent mare care produce o încălzire locală foarte puternică. Ridicând electrodul, suprafața acestuia sau suprafața piesei (dacă este conectată la polul negativ) emite electroni, care sunt accelerați în câmpul ce se stabileşte între anod şi catod. Temperatura înaltă din spațiul arcului şi ciocnirile electronilor emişi de catod provoacă ionizarea gazului dintre anod şi catod şi astfel se stabileşte arcul electric.

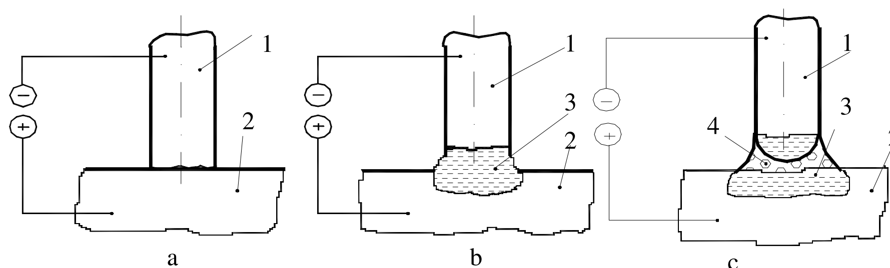


Fig. 6.14. Amorsarea arcului electric pentru sudare:
a – contactul dintre electrod şi materialul de bază; b – încălzirea şi topirea locală; c – amorsarea propriu – zisă a arcului electric; 1 – electrod fuzibil; 2- metal de bază; 3 – metal lichid; 4 – picături de material de adaos.

Aprinderea arcului electric înseamnă crearea condițiilor pentru o puternică emisie de electroni la catod. Electronii emişi la catod pot suferi diferite fenomene (fig.6.15. a) astfel: electronul e', accelerat în câmpul catodic, întâlneşte un atom neutru A^0 al gazului, şi prin ciocnire îl ionizează, rezultând ionul pozitiv A^+ şi doi electroni e'.

Procesul se poate desfăşura şi invers (recombinare) astfel: ionul A^+ se îndreaptă spre catod şi se recombină cu un electron e'', formând un atom neutru A^o. Se poate întâmpla însă ca sub impulsul ciocnirii lui A^+ cu catodul, să apară doi electroni (unul să neutralizeze ionul şi celălalt, e''', să iasă în spaţiul arcului electric). Aceste procese ating o stare cvasistaţionară, astfel că după aprinderea arcului se ajunge (fig.6.15. b) la o tensiune constantă U_a, între electrozi (tensiunea arcului), şi la un curent constant I_s (curentul de sudare).

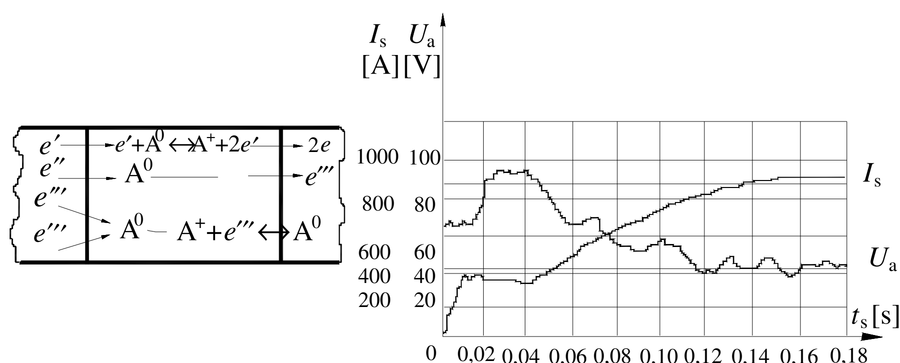


Fig. 6.15. Aprinderea arcului electric:
a – fenomene ce au loc la catod; b – variaţia tensiunii arcului U_a şi a curentului de sudare I_s.

Repartizarea tensiunii arcului nu se face uniform pe lungimea sa, ci pe trei zone distincte (fig.6.16): *zona catodului* 1, *zona coloanei arcului* 2 şi *zona anodului* 3. Căderile de tensiune mari din zonele electrozilor, unde se consideră că nu mai au loc ciocniri între particole, accelerează spre anod electronii şi spre catod ionii furnizaţi de coloana arcului.

La impactul electronilor cu reţeaua cristalină a metalului de adaos sau a metalului de bază, energia cinetică a acestor particule accelerate este cedată, formând porţiuni calde cu luminozitate şi densitate de curent mare, numite *pete electrodice.* Temperatura *petei catodice* atinge valori de cca. 2 500K la Fe şi 3 700K la W, funcţie de natura electrodului, în timp ce temperatura *petei anodice* este mai ridicată (2 600K la Fe, 4 200K la W). Încălzirea mai puternică a anodului se explică prin faptul că pentru emisia electronică, în zona catodică se consumă un lucru mecanic de ieşire, în timp ce prin intrarea electronilor în anod această energie este cedată în favoarea anodului (piesei de sudat).

Arcul electric poate funcţiona stabil la valori diferite ale intensităţii I_s, ale tensiunii U_a şi ale lungimii L_a. Relaţia de legătură între aceste mărimi poartă numele de *caracteristică statică a arcului.* Teoretic, caracteristica statică este o funcţie de forma $U_a = f_1(I_s)$, ca o familie de curbe (fig. 6.17. a), parametrul fiind L_a, şi de forma $U_a= f_2(L_a)$, parametrul fiind I_s (fig. 6.17. b). Cele prezentate se referă la arcul electric în curent continuu şi în curent alternativ. La curentul alternativ însă,

condițiile de întreținere în arc sunt mai grele, deoarece perioadele de aprindere, ardere şi stingere se succed de câte ori curentul îşi schimbă sensul.

Arcurile electrice alimentate cu curent alternativ sunt asemănătoare ca efect termic cu cele în curent continuu, deosebindu-se prin fenomenele datorate polarității.

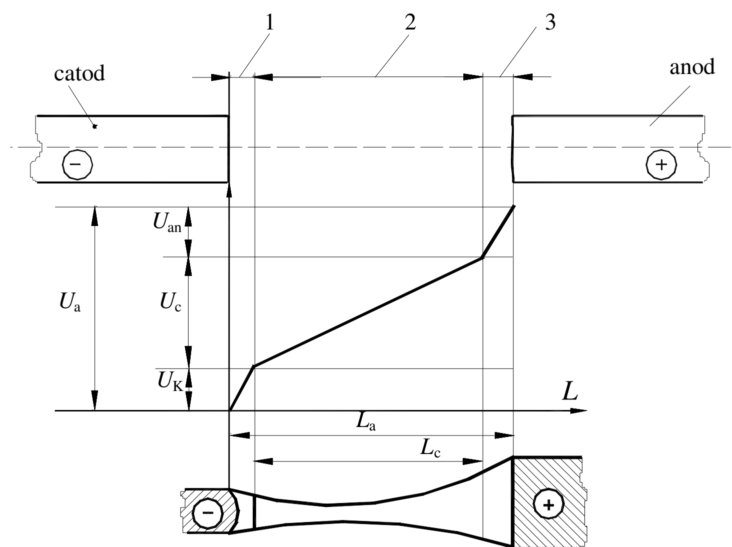


Fig. 6.16. Repartizarea tensiunii pe lungimea arcului:
1 – zona catodului (pata catodică); 2 – zona coloanei arcului; 3 – zona anodului (pata anodică);
U_k; U_c; U_{an} – tensiunea catodică, în coloana arcului şi respectiv anodică; U_a – tensiunea arcului;
L_c, L_a – lungimea coloanei arcului şi respectiv lungimea arcului electric.

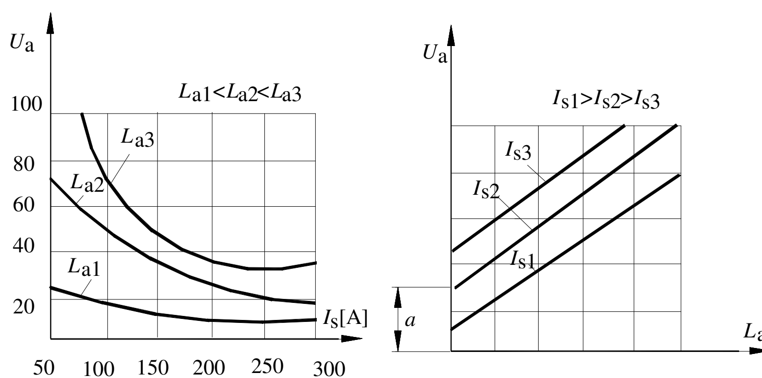


Fig. 6.17 Variația tensiunii arcului U_a:
a – cu intensitatea de sudare I_s, parametrul constant fiind L_a; b – cu lungimea arcului L_a, parametrul constant fiind I_s.

Căldura totală Q dezvoltată de arcul electric este dată de relaţia:

$$Q = U_a \cdot I_s \cdot t \ , \qquad (6.3)$$

în care t este timpul de funcţionare.

Numai o parte Q_u, din această căldură, este utilizată pentru încălzirea şi topirea metalului de bază şi de adaos. Se defineşte astfel randamentul arcului electric η_a, cu relaţia:

$$\eta_a = \frac{Q_u}{Q} \cdot 100 \ [\%] \qquad (6.4)$$

Randamentul arcului electric folosit la sudare depinde de procedeul de sudare aplicat, astfel:

- η_a = 70…85%, la sudarea cu electrod metalic învelit;
- η_a = 80…95%, la sudarea cu arc electric acoperit sub strat de flux.

6.7.2. Trecerea materialului de adaos prin arcul electric

La procedeele de sudare cu electrod nefuzibil, cusătura se formează numai prin topirea părţilor de sudat. Cele mai răspândite procedee de sudare sunt cele la care cusătura se obţine prin topirea simultană a părţilor de sudat şi a electrodului fuzibil (materialul de adaos). Picăturile metalice rezultate din topirea electrodului trec prin spaţiul arcului electric, întotdeauna de la electrod spre metalul de bază, chiar când fac acest lucru contrar forţelor de gravitaţie. Trecerea picăturilor de metal prin spaţiul arcului este un fenomen complex şi incomplet studiat. După majoritatea cercetătorilor, trecerea picăturilor de metal prin spaţiul arcului se face într-un mod mai mult sau mai puţin apropiat de unul din cele două cazuri extreme: *sudarea cu arc scurt* (fig. 6.18. a) şi *sudarea cu arc lung* (fig. 6.18. b). La sudarea cu arc scurt fenomenele se produc în felul următor: în faza I începe topirea electrodului, iar în faza II se formează picătura. Arcul fiind scurt, picătura atinge piesele de sudat înainte de a se desprinde de capătul electrodului, formând un scurtcircuit (fig. 6.18. a, III). Curentul creşte brusc şi, datorită câmpului magnetic, apar forţele:

$$P_e = P_p = \frac{1}{2} \cdot I_s^2 \cdot \frac{\partial L}{\partial r} \ , \qquad (6.5)$$

unde P_p este forţă de propulsie; P_e - forţă electromagnetică; L - inductivitatea circuitului; r - raza conturului; I_s - intensitatea curentului la sudare.

Deoarece secţiunea băii metalice este mai mare decât secţiunea electrodului, $P_p > P_e$, puntea se gâtuie (faza III) şi metalul este transportat către piesă, restabilindu-se faza iniţială (faza IV).

La sudarea cu arc lung (fig. 6.18.b) nu apar scurtcircuite, pentru că spaţiul

ocupat de arc are dimensiuni mai mari decât picătura şi, deci, desprinderea ei de pe electrod are loc înainte de a lua contact cu baia metalică (faza III).

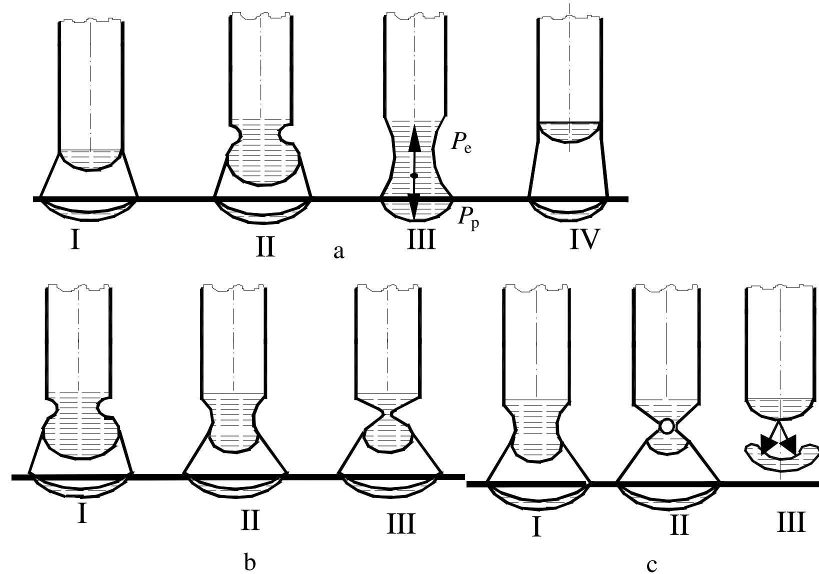


Fig. 6.18. Trecerea picăturilor de metal de adaos prin spațiul arcului electric:
a – la sudarea cu arc scurt. b – la sudarea cu arc lung; c – datorită presiunii gazelor;
I, II, III, IV - faze la trecerea picăturii.

După alți cercetători, elementul esențial în împingerea picăturilor către piese îl constituie *presiunea*. O dată cu formarea picăturii (fig. 6.18. c), datorită temperaturii înalte, carbonul se oxidează, la baza picăturii formându-se o bulă de gaz (faza II), care împinge picătura de metal spre piesă (faza III).

6.7.3. Surse de curent pentru sudarea prin topire cu arc electric

Sursele de curent pentru sudare creează diferența de potențial dintre electrod şi metalul de bază, necesară amorsării şi funcționării arcului. Ele pot fi de curent continuu sau de curent alternativ. Ambelor categorii li se impun următoarele condiții: tensiunea la bornele sursei să fie suficient de mare pentru a putea produce amorsarea arcului, curentul de scurtcircuit I_k să nu depăşească prea mult curentul de sudare; să asigure stabilitatea sistemului energetic sursă – arc; să asigure trecerea rapidă din regimul de scurtcircuit în regim de sarcină şi invers, adică să aibă o caracteristică dinamică bună; să permită reglarea curentului în limite largi şi în trepte fine; să aibă randament ridicat şi consum minim la mersul în gol; să fie durabilă, uşor de întreținut şi de exploatat.

Pentru a fi utilizabile la sudare, sursele trebuie să aibă o *caracteristică statică* (caracteristica externă) descendentă (fig. 6.19, curba b), spre deosebire de cele folosite la iluminat şi ca surse de forţă care au caracteristica aproximativ constantă (fig. 6.19, curba a).

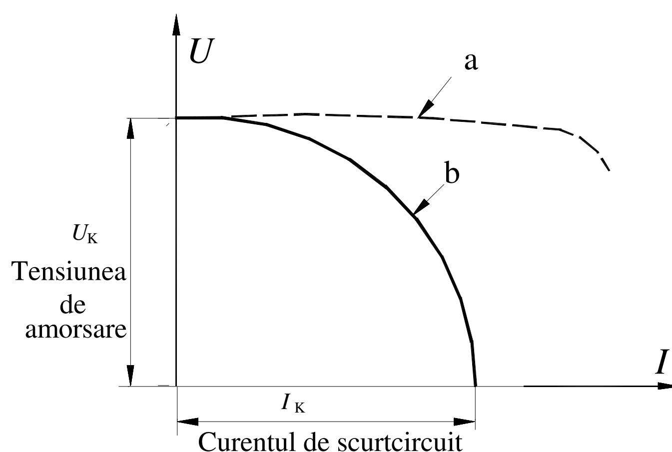


Fig. 6.19. Caracteristica statică a surselor:
a – la cele folosite la iluminat şi forţă; b – la cele folosite la sudare.

Condiţiile enumerate mai sus sunt îndeplinite cel mai bine de acele surse care au caracteristica externă coborâtoare (curba b), curba $U = f(I)$ având în permanenţă panta negativă, spre deosebire de cele uzuale folosite la iluminat şi ca surse de forţă, care au caracteristica externă uşor coborâtoare (curba a). Între caracteristica externă 1, a sursei de curent, şi caracteristica statică 2, a arcului electric, trebuie să existe puncte de intersecţie (fig. 6.20), care sunt *puncte posibile de funcţionare stabilă a arcului electric.*

Se demonstrează că punctele *A* sunt punctele de funcţionare *stabilă* ale arcului. Pentru funcţionarea stabilă a arcului electric trebuie ca sistemul sursă - arc să asigure:

- *stabilitatea statică,* dată de capacitatea sistemului de a reveni la parametrii electrici normali de funcţionare, în cazul unei variaţii întâmplătoare a unuia din parametrii arcului. Stabilitatea statică (fig.6.21) este asigurată când este îndeplinită inegalitatea:

$$K_s = \text{tg}\alpha_a - \text{tg}\alpha_s > 0 \quad , \qquad (6.6)$$

unde K_s este coeficientul de stabilitate al sistemului energetic; α_a - panta caracteristicii statice 2, a arcului; α_s - panta caracteristicii externe 1, a sursei;

- *stabilitatea dinamică* este dată de capacitatea sursei din sistemul sursă–arc, de a urmări într-un timp foarte scurt, variaţia periodică a parametrilor electrici

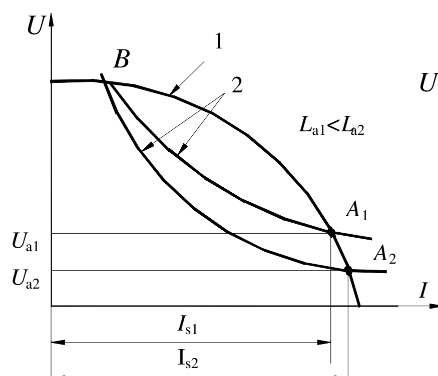


Fig. 6.20. Determinarea punctelor de funcționare stabilă a arcului electric:
1 – caracteristica externă a sursei;
2 – caracteristica statică a arcului; A_1,A_2 – puncte de funcționare stabilă a arcului electric.

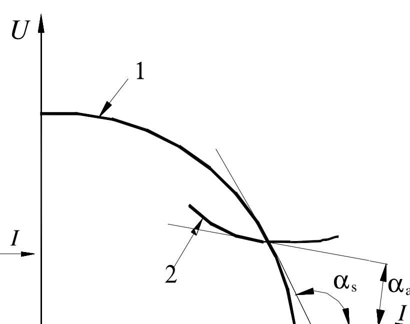


Fig. 6.21. Stabilitatea statică a sistemului sursă – arc:
1 – caracteristica externă a sursei;
2 – caracteristica statică a arcului; α_a – panta caracteristicii arcului; α_s–panta caracteristicii sursei de curent.

ai arcului. Arcul electric format cu un electrod fuzibil se caracterizează printr-o încărcare dinamică, în al cărui circuit se produc în intervale de timp foarte scurte (sutimi de secundă) variații bruște ale regimului electric. Topirea electrodului şi trecerea metalului sub formă de picături pe piesă provoacă variații bruște ale lungimiii arcului şi, la intervale de timp foarte mici, produce scurtcircuitarea sursei de curent (peste 30 ori/sec). Curentul şi tensiunea la aceste perturbări nu-şi păstrează valorile constante, ele variază după curbele din figura 6.22.

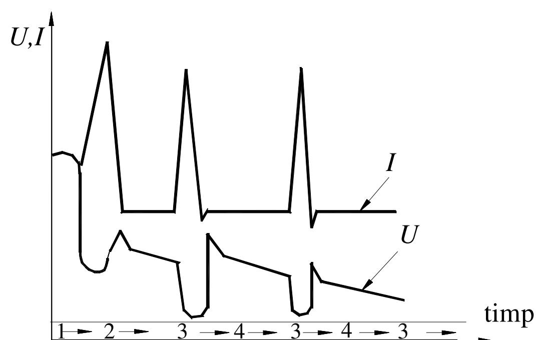


Fig. 6.22. Variația periodică a parametrilor electrici ai sistemului sursă – arc:
1 – mersul in gol; 2 – amorsarea arcului; 3 – arderea arcului; 4 – trecerea picăturii de metal topit în baie.

Cele mai răspândite tipuri de surse folosite la sudare sunt cele prezentate în figura 6.23 şi tabelul 6.3.

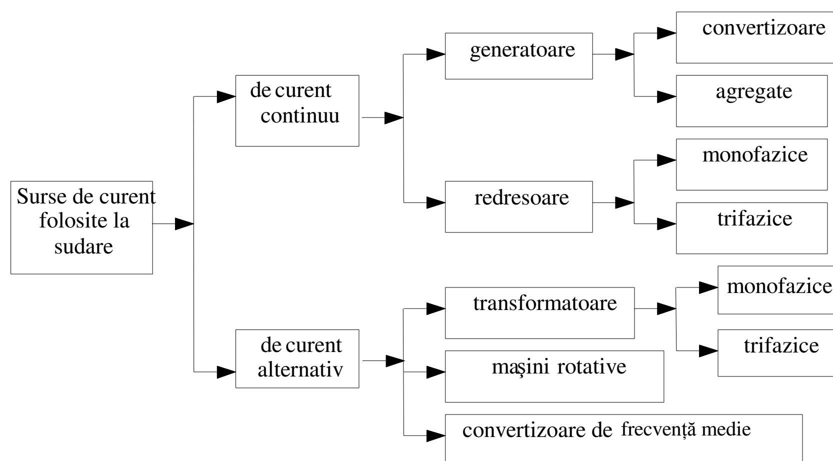


Fig. 6.23. Clasificarea surselor de curent folosite la sudare.

Datorită stabilităţii mai mici a arcului electric, la sudarea în curent alternativ este necesar ca transformatoarele să îndeplinească următoarele condiţii suplimentare:

- în circuitul de sudare să existe o inductanţă suficient de mare, care să creeze un defazaj între tensiune şi curent, adică în momentul când $I_s = 0$, U_a să aibă o valoare suficient de mare pentru menţinerea arcului;
- tensiunea de amorsare a arcului să fie mai mare decât tensiunea folosită la sursele de curent continuu;
- caracteristica externă să fie mai coborâtoare.

În scopul satisfacerii condiţiilor impuse surselor de curent folosite la sudare au apărut şi sunt perfecţionate multe variante constructive.

6.7.4. Sudarea manuală cu arc electric descoperit

Sudarea manuală cu arc electric este procedeul cel mai des utilizat la executarea îmbinărilor sudate.

6.7.4.1. Schema de principiu

Sudarea manuală prin topire cu arc electric este un procedeu de îmbinare nedemontabilă a două piese prin formarea unei legături omogene între atomii marginali ai pieselor de îmbinat, prin topirea locală a marginilor acestora, împreună cu materialul de adaos. Topirea are loc ca urmare a efectului termic a unui arc electric format între piesele de sudat şi un electrod fuzibil, care constituie în acelaşi timp şi materialul de adaos necesar umplerii rostului dintre piesele de îmbinat. Schema de principiu a procedeului se prezintă în figura 6.24.

Tabelul 6.3. *Principalele tipuri de surse de curent folosite la sudarea prin topire cu arc electric*

Nr. Crt.	Tipul sursei	Schema de principiu	Caracteristica externă a sursei	Modul de funcționare	Modul de reglare a curentului
1	2	3	4	5	6
1	Generatorul de sudare cu excitație separată și serie antagonistă	I_e, R_e, U_e, ϕ_e, I_s, ϕ_s, R_s	U; caracteristica externă a sursei; caracteristica statică a arcului; I	Înfășurările polilor mașinii sunt alimentate separat. Introducând pe poli un bobinaj invers, parcurs de curentul de sudare I_s, se produce un flux ϕ_s, de sens contrar fluxului excitat separat ϕ_e. Se obține o caracteristică oborâtoare. Excitația separată se obține de la o excitatie montată pe același arbore.	Prin introducerea în circutul de excitație a unei rezistențe variabile R_e cu care se modifică tensiunea de mers în gol ; Legând separat pe o porțiune din bobinajul serie a unui reostat R_s cu care se variază curenții de scurt circuit.
2	Generatorul de sudare cu excitație în derivație și serie antagonistă	ϕ_e, R_s, c, b, a, I_s, ϕ_s, ⊖, ⊕	U; 1; 2; I	Generatorul are o excitație în derivație alimentată de la periferia auxiliară c de pe mijlocul indusului și o înfășurare de excitație serie al cărui flux ϕ_e este dat de excitația în derivație. Se obține o caracteristică externă coborâtoare.	Regimul de funcționare se poate modifica fie modificând curentul de excitație I_e, acționând asupra reosta-tului R_s, fie modificând numărul de spire al înfășurării de excitație serie, obținându-se curba 1 la un număr mai mic de spire pe excitația serie, sau curba 2, la un număr mai mare de spire pe excitația serie.

Tabelul 6.3. (*continuare*)

1	2	3	4	5	6
3	Generatorul cu poli divizați			La funcționarea în sarcină reacția indusului se manifestă sub forma unor fluxuri de reacție ϕ_{et} și ϕ_{ep}. Fluxul ϕ_{ep} nu poate modifica starea de magnetizare a polilor principali, aceştia lucrând saturați, spre deosebire de fluxul de reacție ϕ_{et}, care are tendința de a micşora fluxul ϕ_t, dat de curentul de excitație I_t. Tensiunea de la bornele sursei E_{ab} rezultă prin sumarea tensiunilor E_{ac} şi E_{cb} ($E_{ab} = E_{ac} + E_{cb}$). Modificând unul sau ambele fluxuri ϕ_t, ϕ_{et}, se poate varia E_{cb} şi E_{ab}.	Prin reglarea curenților de excitație se obține o reglare fină; Prin rotirea periilor colectoare din linia neutră se obține o reglare în trepte. Se obține caracteristica 1 pentru un număr mai mic de spire pe excitația serie şi caracteristica 2 pentru un număr mai mare de spire pe excitația serie.
4	Generatorul cu câmp transversal			Polii produc în rotor un câmp magnetic slab ϕ_0 suficient ca, la perechea de perii scurtcircuitate *ab*, să existe un curent apreciabil care produce un flux transversal ϕ_t puternic. Curentul de scurtcircuit este limitat de reacțiunea rotorului din cauza curentului principal, care prin dispoziția periilor de lucru, produce un câmp magnetic ϕ_l invers celui excitat inițial.	Prin variația secțiunii polilor (introducerea sau scoaterea unui miez feromagnetic în polii tubulari ai maşinii).

Tabelul 6.3. (*continuare*)

1	2	3	4	5	6
5	Transformatorul de sudare cu reactanță separată	U_1 U_2 I_2 B_r δ U_a	U I 1 2 3	Transformatorul are montat în circuitul secundar o bobină de reactanță B_r separată. Pe bobină se produce o cădere de tensiune, care este cu atât mai mare cu cât curentul este mai mare și impedanța bobinei este mai mare. Impedanța bobinei se mărește micșorând întrefierul acesteia, putându-se obține curenți diferiți de scurtcircuit.	Reglarea curentului se poate face fie modificând întrefierul bobinei de reactanță, fie schimbând tensiunea secundară prin conectarea bobinei de reactanță pe prizele din secundarul transformatorului. Se obțin caracteristicile externe ale sursei 1, 2, 3 în funcție de diversele mări-mi ale întrefierului.
6	Transformatorul cu șunt magnetic mobil	U_1 P P δ S_m S S U_a	U I 1 2 3	Bobinajele primare P și cele secundare S sunt separate printr-o coloană de fier (șuntul magnetic S_m) și sunt dispuse pe ambele coloane ale miezului. Dat fiind șuntul magnetic, la creșterea curentului de sudare crește dispersia magnetică și scade tensiunea secundară U_a.	Reglarea curentului se face prin modificarea grosimii δ a întrefierului, a secțiunii sale sau învârtind o piesă intermediară de fier obținându-se caracteristicile externe 1 și 2, la introducerea completă a șuntului, și caracteristica 3, la scoaterea completă a șuntului magnetic.

Tabelul 6.3. (*continuare*)

1	2	3	4	5	6
7	Transformatorul trifazat pentru sudarea cu doi electrozi	K, El 2, El1, PS, z_1, z_2, z_3, B_r	U, I, 1, 2	Bobina de reacție B_r este constituită din două miezuri, pe unul din ele găsindu-se bobina z_3 în serie cu piesa de sudare PS, iar pe celălalt miez, bobinele z_1 și z_2 legate la cei doi electrozi de sudură El_1 ți El_2 .Cu ajutorul contactorului K se pot realiza diverse scheme de sudare (cu un electrod, cu doi electrozi, mers în gol).	Curentul în electrozi şi între electrozi şi piesă se reglează prin deplasarea unor miezuri din bobina de reactanță, iar curentul în piesă este reglat prin variația întrefierului şi cel de al doilea miez al bobinei de reacție, rezultând caracteristicile externe 1 şi 2.
8	Redresorul în punte trifazată	R, S, T, Tr, U_r, R_c, B_c, B_r, R, U_a	U, I, 4, 1, 2, 3	Prin intercalarea unei bobine de reacție B_r între secundarul unui transformatorul Tr cu caracteristică rigidă, iar redresorul R se schimbă saturația miezurilor suplimentare, inductanța transformatorului şi deci regimul de sudare.	Prin reglarea excitației în curent continuu a unei bobine de comandă B_c, aşezată pe miezul fiecărei bobine de reacție B_r, reglarea curentului de comandă prin intermediul reostatului R_c variază reluctanța coloanelor suplimentare şi se modifică intensitatea fluxurilor magnetice, obținându-se diferite curbe caracteristice 1,2,3,4.

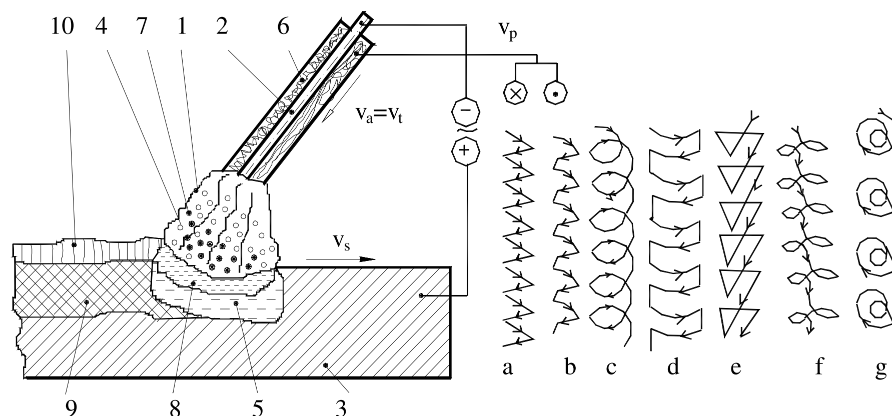


Fig. 6.24. Schema de principiu la sudarea manuală cu arc electric descoperit cu electrod fuzibil învelit:
1 – arc electric; 2 – electrod (metal de adaos); 3 – metal de bază; 4 – picături de metal de adaos; 5 – baia de sudură; 6 – învelişul electrodului; 7 – picături de înveliş topit; 8 – pelicula de înveliş topit; 9- cusătura sudată; 10 – zgura; v_a – viteza de avans a electrodului; v_t – viteza de topire a electrodului; v_p – viteza mişcării de pendulare a electrodului; v_s – viteza de sudare; a…g – tipuri de mişcări de pendulare.

Arcul electric 1, format între electrodul 2 şi metalul de bază 3, topeşte prin acțiune directă metalul de bază şi metalul de adaos. Picăturile de metal de adaos 4, împreună cu metalul de bază topit formează baia de sudură 5. Electrodul este prevăzut cu un înveliş 6, care prin topire este transportat, sub formă de picături 7, de arcul electric, formând deasupra băii de sudură o peliculă de zgură lichidă 8, care protejează baia de sudură de acțiunea mediului înconjurător. După solidificarea băii de sudură rezultă cusătura sudată 9, acoperită cu o crustă de zgură 10, formată prin solidificarea peliculei de înveliş topit, care se îndepărtează după terminarea procesului de sudare. Învelişul electrodului se vaporizează parțial şi formează în jurul descărcării o atmosferă ionizată şi protectoare pentru arcul electric.

6.7.4.2. Utilajul folosit la sudarea manuală prin topire cu arc electric

Pentru amorsarea şi funcționarea arcului electric este necesar ca între electrod şi piesă să fie creată o diferență de potențial. Această diferență de potențial este creată de sursele de curent de sudare. La sudarea manuală prin topire cu arc electric pot fi utilizate atât surse de curent continuu cât şi surse de curent alternativ.

Pentru funcționarea stabilă a arcului electric aceste surse trebuie să îndeplinească condițiile prezentate în paragraful 6.7.3.

Cele mai răspândite tipuri de surse de sudare folosite la acest procedeu se prezintă în tabelul 6.3. Pe lângă sursa de curent prezintă importanță şi elementele

auxiliare ce completează echipamentul de sudare (port-electrodul, clema de contact, cablurile de legătură şi echipamentul de protecţie).

Port-electrodul este un cleşte de construcţie specială care serveşte atât la prinderea electrodului, cât şi la conectarea lui în circuitul de sudare. El trebuie să asigure un contact electric bun cu electrodul şi să fie uşor manevrabil. Port-electrodul trebuie să aibă un mâner bine izolat şi se construieşte într-o gamă variată de modele (fig. 6.25).

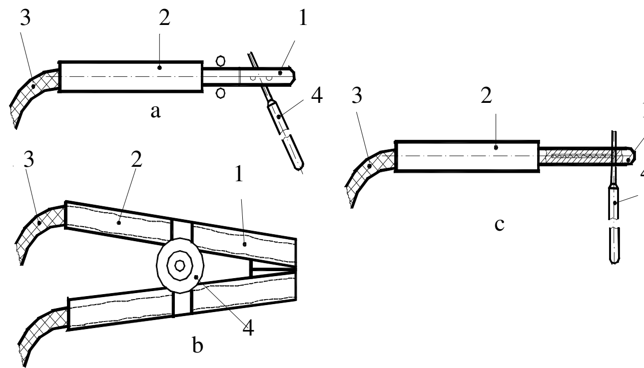


Fig. 6.25. Modele de port electrozi:
a – fix; b – articulat; c – cu arc de presare; 1 – cleşti; 2 – mâner; 3 – cablu de legătura la sursa de curent; 4 – electrod.

Clema de contact realizează un contact bun între piesa de sudat şi conductorul legat la sursa de curent de sudare (fig. 6.26).

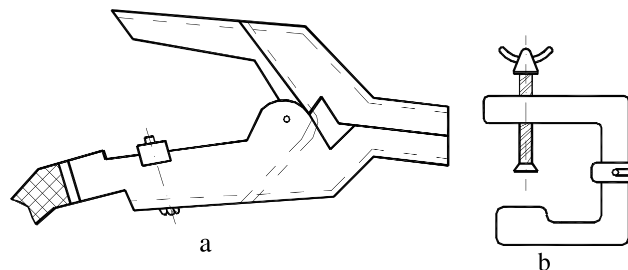


Fig. 6.26. Tipuri de cleme de contact:
a – cu articulaţie şi arc; b – cu şurub de fixare.

Echipamentul de protecţie foloseşte la protejarea sănătăţii sudorului de acţiunea arcului electric descoperit şi a stropilor de metal lichid. Este format din:

- măşti de protecţie prevăzute cu filtru împotriva radiaţiilor ultraviolete şi infraroşii ce pot afecta ochii;

- şorț, mănuşi şi jambiere din piele pentru protecție la acțiunea stropilor de metal lichid;

- ochelari cu sticlă securit pentru protejarea ochilor în timpul curățirii zgurii de pe cusăturile sudate.

6.7.4.3. Tehnologia sudării manuale cu arc electric şi electrozi înveliți

Pentru a realiza o cusătură sudată de bună calitate trebuie parcurse următoarele etape, într-o succesiune logică:

1. Analiza materialului de bază se face în funcție de:

- condițiile de exploatare;

- tehnologia de execuție a subansamblului din care face parte îmbinarea sudată;

- asigurarea eficienței tehnico-economice.

În această analiză intră următoarele informații: tipul materialului (oțeluri, fonte, aluminiul şi aliajele sale, cuprul şi aliajele sale, titanul şi aliajele sale, nichelul şi aliajele sale etc.); grosimea materialului; lungimea cusăturii sudate; starea suprafeței (curată, oxidată, cu grăsimi etc.); tipul îmbinării (cap la cap, de colț, prin suprapunere, în cruce, în T etc.); poziția de sudare (orizontală, orizontală în plan vertical, vertical ascendent sau descendent, peste cap etc.).

2. Pregătirea piesei în vederea sudării se face de la început, iar de modul cum se realizează aceasta depinde calitatea îmbinării sudate. Pregătirea presupune parcurgerea mai multor faze în următoarea succesiune logică:

a) *controlul inițial al părților de îmbinat* – un control nedistructiv cu ultrasunete, lichide penetrante, pulberi magnetice, radiații penetrante, emisie acustică etc., funcție de forma, dimensiunile şi natura părților de îmbinat;

b) *curățirea suprafețelor de îmbinat* este absolut obligatorie, deoarece prezența impurităților generează în cusătura sudată apariția defectelor de tipul porilor, fisurilor, incluziunilor. Curățirea se face în funcție de starea şi tehnologia anterioară de obținere (turnare, deformare plastică etc.), astfel:

- pentru semifabricatele laminate - curățirea de arsuri: oxizi, rugină aderențe, grăsimi, pete de ulei, vopsea etc.;

- pentru semifabricatele turnate - curățirea de oxizi: rugină, resturi de amestec de formare, grăsimi, aderențe, zgură etc.;

- pentru construcțiile navale mai apare în plus *pasivizarea* tablelor după sablare.

Curățirea se poate face prin procedee mecanice (cu perii de sârmă, prin sablare, prin aşchiere) sau prin procedee chimice (folosind decapanți şi degresanți, în special pentru oțelurile aliate şi neferoase);

c) *debitarea şi pregătirea rostului* se face în funcție de grosimea materialului, lungime, formă, poziția sudurii şi caracteristicile fizico-mecanice. Procedeele de debitare cele mai frecvente sunt:

- *debitarea cu flacără de gaze şi jet de* O_2, pentru grosimi şi lungimi mari, pentru contururi curbilinii şi complexe;

- *debitarea mecanică* prin strunjire (pentru semifabricate tubulare), prin rabotare şi frezare (pentru table), prin rectificare (când se cere o precizie dimensională mai bună).

După prelucrarea corespunzătoare a marginilor pieselor de îmbinat, acestea se poziţionează reciproc în aşa fel încât să formeze rostul îmbinării, ales în funcţie de grosimea materialului de bază şi de forma construcţiei sudate (tab. 6.1). Pentru aşezarea şi menţinerea corectă a pieselor de sudat în timpul proceselor de sudare, acestea se prind în suduri provizorii, plasate din loc în loc (fig. 6.27) şi se execută cu acelaşi tip de electrozi folosiţi pentru întreaga cusătură sudată.

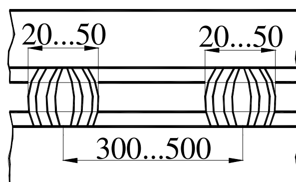


Fig. 6.27. Recomandări privind plasarea sudurilor provizorii.

O metodă mai bună din punct de vedere al calităţii este prinderea în dispozitive speciale, care asigură poziţionarea corectă şi realizarea optimă a tipului de rost al îmbinării, dar metoda este ineficientă în cazul producţiei de unicate şi serie mică.

La poziţionarea reciprocă a pieselor de îmbinat trebuie ţinut cont şi de poziţia sudării după direcţia axei (fig. 6.28) şi după modul de plasare al feţei cusăturii sudate (fig. 6.29).

3. Alegerea materialului de adaos se face în funcţie de caracteristicile mecanice ale materialului de bază, cât şi de compatibilitatea sa cu materialul de bază. Se recomandă următoarele: limita de curgere a materialului depus trebuie să fie cu 50...80N/mm^2 mai mare decât cea a materialului de bază, alungirea să fie cu 35...38%, mai mare, iar pentru tablele groase, rezilienţa KCU trebuie să fie cu 30...40J/cm^2 mai mare faţă de cea a materialului de bază. Se admite o diferenţă de până la 5% între caracteristicile materialului depus şi cele ale materialului de bază. Compatibilitatea dintre materialul de adaos şi materialul de bază se realizează atunci când compoziţia chimică a materialului de bază şi a materialului de adaos sunt apropiate. Se recomandă ca materialul depus să aibă un conţinut mai scăzut de carbon, pentru a conferi plasticitate mai ridicată construcţiei sudate.

În majoritatea cazurilor, materialul de adaos folosit la sudarea manuală cu arc electric se livrează sub formă de *electrozi pentru sudare*, care sunt vergele metalice de diferite diametre şi lungimi, standardizate, acoperite cu un înveliş fuzibil, mineral sau organic.

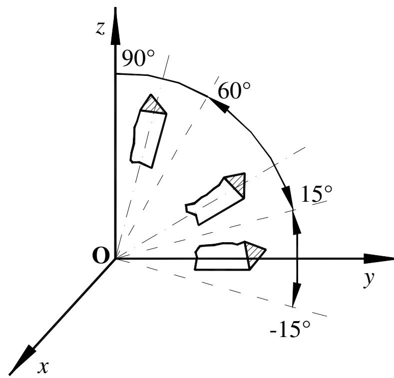


Fig. 6.28. Poziția cusăturii sudate după direcția axei orizontală între –15° şi 15°; înclinată, între 15° şi 60°; verticală, între 60° şi 90°.

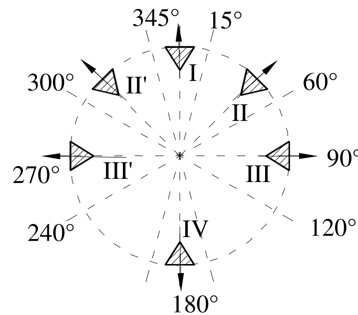


Fig. 6.29. Poziția cusăturii sudate după direcția normalei la fața cusăturii:
I – orizontală; II, II′– înclinată;
III, III′ – orizontală în plan vertical (în cornişă);
IV – pe plafon.

După componenții dominanți ai învelişului, electrozii pot fi cu înveliş titanic (T), rutilic (R), acid (A); bazic (B); celulozic (C); oxidant (O) sau cu învelişuri speciale (V).

Clasificarea electrozilor pentru sudarea manuală cu arc electric se prezintă în figura 6.30.

Învelişul electrodului îndeplineşte următoarele funcțiuni:

- *funcția ionizatoare,* care se realizează prin introducerea unor substanțe ce măresc stabilitatea funcționării arcului electric, prin intensificarea procesului de ionizare a mediului dintre electrod şi piesă;

- *funcția moderatoare,* care se realizează prin formarea unei cruste de zgură deasupra cordonului de sudură, care reduce viteza de răcire a cusăturii sudate şi creşte plasticitatea cusăturii;

- *funcția protectoare*, care se realizează prin formarea unui mediu gazos atât pentru arcul electric, cât şi pentru baia de zgură;

- *funcția de aliere*, care se realizează prin introducerea unor elemente metalice (feroaliaje) care absorb oxigenul (dezoxidante) şi/sau produc îmbunătățirea cordonului cu anumite elemente ca Si, Mn, Fe etc.;

- *funcția de curățire,* care se realizează prin reducerea conținutului de sulf şi fosfor la anumite tipuri de învelişuri, prin introducerea de elemente mai avide față de acestea decât față de Fe;

- *funcția de sprijinire,* care se realizează prin întărirea rapidă a zgurii formate prin solidificarea peliculei de înveliş topit, la executarea cusăturilor pe plafon.

Electrozii se fabrică la diametre standardizate ∅1,2; ∅1,6; ∅2,0; ∅2,5; ∅3,25; ∅4,0; ∅5,0; ∅6,0; ∅10,0 mm şi lungimi l = 300...500 mm.

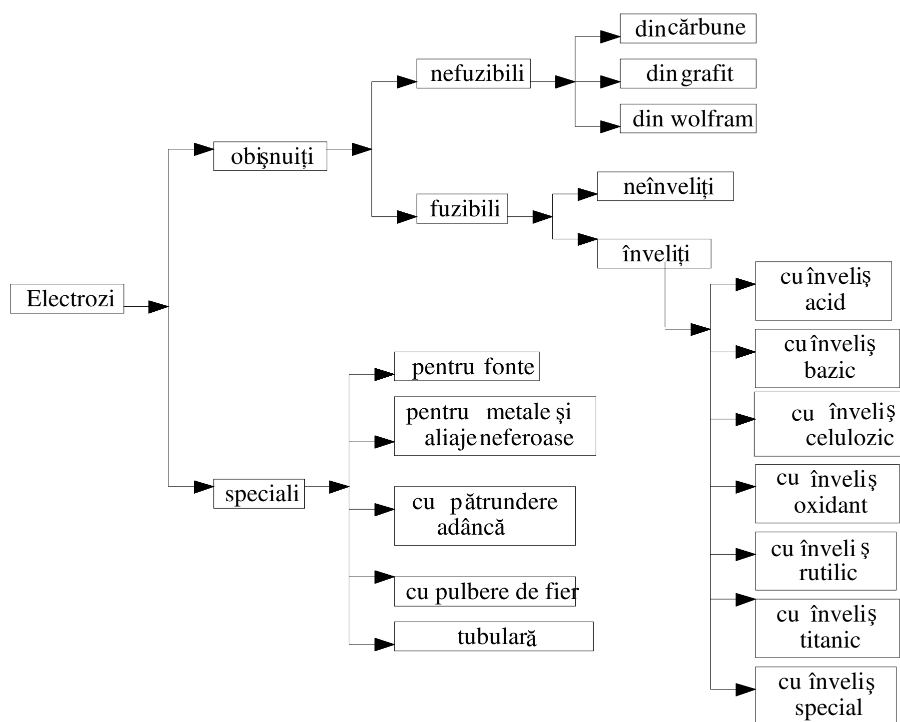


Fig. 6.30. Clasificarea electrozilor pentru sudarea manuală cu arc electric.

Simbolizarea electrozilor se face folosind litere şi cifre care definesc proprietăţile de rezistenţă; tipul învelişului, poziţia de sudare şi felul curentului. (Pentru simbolizarea poziţiilor de sudare există convenţia: 1- toate poziţiile; 2- toate poziţiile exceptând poziţia verticală descendentă; 3 - poziţia orizontală, orizontală în jgheab, puţin înclinată; 4 - poziţia orizontală şi orizontală în jgheab). Un exemplu de simbolizare a unui electrod se prezintă în figura 6.31.

La alegerea electrozilor trebuie avute în vedere particularităţile legate de materialul de bază şi de grosimea componentelor ce urmează a fi sudate.

La oţelurile carbon cu C ≤ 0,25 % se utilizează în mică măsură electrozii acizi, iar la cusăturile de poziţie electrozii titanici. Pentru construcţii greu solicitate se aleg electrozii bazici. La oţelurile carbon cu C > 0,25%, electrozii bazici şi titanici se utilizează cu preîncălzirea materialului de bază.

Pentru suduri de legătură, table subţiri, strat de rădăcină, rosturi mari şi neuniforme se utilizează electrozii celulozici. Electrozii cu înveliş oxidant se utilizează numai la suduri slab solicitate.

4. Alegerea utilajului pentru sudare se face în funcţie de natura materialului de bază şi a materialului de adaos, de productivitate şi de configuraţia geometrică a

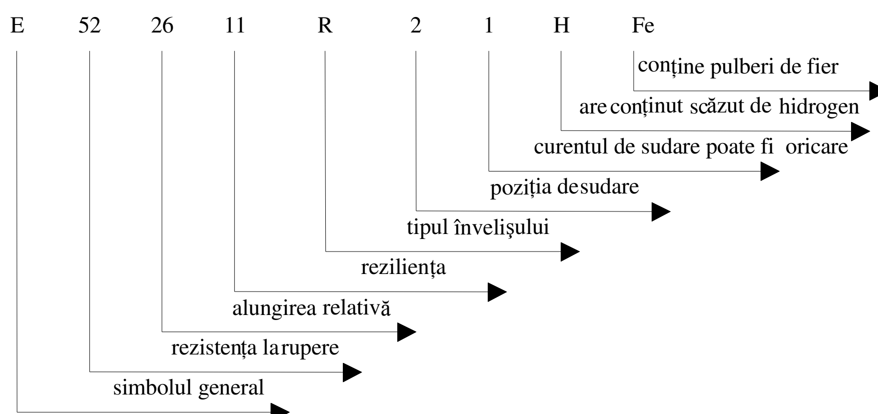


Fig. 6.31. Exemplu de simbolizare a unui electrod.

structurii sudate. Se alege fie o sursă de curent continuu (convertizoare, redresoare), fie de curent alternativ (transformatoare).

5. Stabilirea parametrilor regimului de sudare în funcție de calitatea prescrisă pentru îmbinarea sudată, de forma şi dimensiunile pieselor de sudat se stabilesc dimensiunile şi felul cusăturilor sudate, poziția în care trebuie executate, numărul de straturi şi ordinea de depunere a straturilor.

Principalii parametri ai regimului de sudare sunt: *diametrul electrodului* d_e, *tensiunea de sudare* U_s, *curentul de sudare* I_s, *viteza de sudare* v_s, *tipul curentului şi polaritatea.*

a) *Diametrul electrodului* d_e se stabileşte în funcție de grosimea materialului de sudat (la sudarea cap la cap) sau în funcție de dimensiunea catetei (la sudarea în colț), de natura materialului de sudat şi importanța construcției. Diametrul electrodului ce trebuie ales d_e se poate calcula cu relația:

$$d_e = 1{,}5\sqrt{s} \quad [\text{mm}] \ , \tag{6.7}$$

în care s reprezintă grosimea tablelor de sudat.

Câteva valori ale diametrelor electrozilor pentru sudarea cap la cap se prezintă în tabelul 6.4, iar pentru îmbinări de colț sau în T, în tabelul 6.5.

Tabelul 6.4. *Alegerea diametrului electrozilor în funcție de grosimea pieselor de sudat*

Grosimea tablei s[mm]	1,5...2,0	3,0	4,0...8,0	9,0.….12,0	13,0...15,0	16,0...20,0	20,0
Diametrul electrodului d_e[mm]	1,6...2,0	3,0	4,0	4,0.….5,0	5,0	5,0...6,0	6,0..10,0

Tabelul 6.5. *Alegerea diametrului electrozilor în funcție de mărimea catetei îmbinării de colț*

Cateta îmbinării k[mm]	3,0	4,0...5,0	6,0...9,0	10,0...13,0
Diametrul electrozilor d_e[mm]	3,0	4,0	5,0	6,0

La tablele cu grosime mică (1,0...3,0 mm) sudura se poate obține dintr-o singură trecere, iar folosind electrozi cu pătrundere adâncă se pot suda dintr-o singură trecere şi table cu grosimea de 6,0...8,0 mm.

Pentru tablele cu grosimea $s \geq 10{,}0$ mm, sudarea se face în mai multe treceri, primul strat se depune cu un electrod de diametru mai mic, iar următoarele cu electrozi de diametru ceva mai mare.

La suduri de colț sau în T, secțiunea maximă a cordonului la o trecere este de 30...40 mm^2, iar numărul de treceri n se poate determina cu relația:

$$n = \frac{S_n}{30} \quad , \tag{6.8}$$

în care S_n este secțiunea necesară cusăturii şi se calculează cu relația:

$$S_n = k_y \cdot \frac{k^2}{2} \quad , \tag{6.9}$$

în care k_y este un coeficient de corecție ale cărui valori sunt date în tabelul 6.6; k –dimensiunea catetei.

Tabelul 6.6. *Valorile coeficienților de corecție k_y în funcție de dimensiunea catetei*

Cateta k[mm]	3,0 – 4,0	5,0 – 6.0	7,0 – 10.0	12.0 – 20.0	20.0 – 30.0	30.0
k_y	1,5	1,35	1,25	1,15	1,10	1.05

Pentru suduri cap la cap numărul de treceri n se stabileşte cu relația:

$$n = \frac{S_n - S_1}{S_i} + 1 , \tag{6.10}$$

în care S_1 este secțiunea primului strat (S_1 = 6…8 d_e); S_i - secțiunea pentru următoarele straturi (S_i = 8…12 d_e), iar S_n - secțiunea necesară cusăturii care la o îmbinare în V (fig.6.32) se calculează cu relația:

$$S_n = (s-c)^2 \cdot \mathrm{tg}\frac{\alpha}{2} + b \cdot s + \frac{2}{3} \cdot h \cdot \left[2 \cdot (s-c) \cdot \mathrm{tg}\frac{\alpha}{2} + b + 6 \right]. \tag{6.11}$$

Modul de depunere a straturilor de sudură în cazul unei cusături sudate obținută prin depunerea a n = 8 straturi se prezintă în figura 6.33.

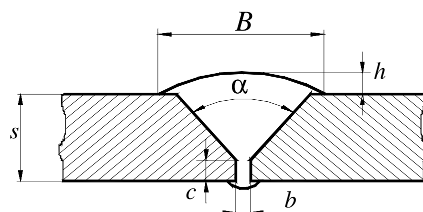


Fig. 6.32. Elementele geometrice ale calculului secțiunii S_n a cusăturii sudate în cazul unei cusături sudate în V.

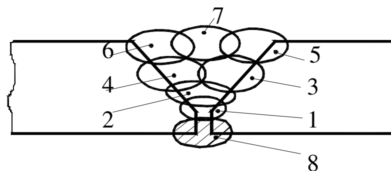


Fig. 6.33. Modul de depunere a straturilor de sudură: 1; 2; …7 – straturi de sudură; 8 – strat de rădăcină.

Se observă că rădăcina cusăturii se sudează la urmă pe partea opusă cusăturii (stratul 8).

b) *Curentul de sudare I_s* se stabileşte în funcție de secțiunea electrodului şi densitatea maximă de curent ce îl poate străbate. Sudarea cu valori mici ale curentului de sudare conduce la instabilitatea arderii arcului electric şi la întreruperi repetate ale acestuia în timp ce sudarea cu valori peste cele prescrise conduce la supraîncălzirea baghetelor metalice datorită efectului Joule sau la deteriorarea învelişului şi la apariția defectelor în cusătură. Intensitatea curentului de sudare I_s se poate calcula cu relația:

$$I_s = \frac{\pi}{4} \cdot d_e^{\,2} \cdot j \quad [\mathrm{A}] \ , \tag{6.12}$$

în care *j* este densitatea de curent, exprimată în A/mm^2 şi ale cărei valori sunt date în tabelul 6.7:

Tabelul 6.7. *Valorile densității de curent în funcție de diametrul şi tipul învelişului*

Tipul învelişului	Densitatea de curent j[A/mm^2] pentru electrozi cu diametrul de:			
	3,0[mm]	4,0[mm]	5,0[mm]	6,0[mm]
acid, rutilic	14,0…20,0	11,5…16,0	10,0…13,5	9,5…12,5
bazic	13,0…18,5	10,0…14,5	9,0…12,5	8,5…12,0

Pentru calcule rapide se pot folosi relațiile:

$$I_s = k \cdot d_e \quad \text{şi} \quad I_s = 50 \cdot (d_e - 1) \ , \tag{6.13}$$

în care *k* este un coeficient ale cărui valori sunt trecute în tabelul 6.7, iar d_e este diametrul electrodului.

Curentul de sudare se măreşte când sudarea se execută în condiții dificile (pierderi termice mari) şi se micşorează la sudarea în poziții dificile, când metalul lichid trebuie să fie mai păstos. Oricare valoare a curentului de sudare implică o anumită tensiune a arcului electric, stabilită în fiecare moment prin intermediul caracteristicii externe a sursei de curent şi a lungimii momentane a arcului.

c) *Tensiunea arcului* U_a variază în limite restrânse, în general fiind cuprinse între 20 şi 30V. Este recomandată, de regulă, în paşaportul electrozilor, de către producător şi influenţează direct proporţional lăţimea cordonului de sudură. Relaţia de verificare pentru U_a este:

$$U_a = 0{,}05 \cdot I_s + 20 \quad [\text{V}] \ , \tag{6.14}$$

dacă 80A < I_s < 500A.

Există de asemenea o legătură între lungimea arcului electric şi tensiune (se recomandă $L_a \sim d_e$).

d) *Viteza de sudare* v_s se poate calcula cu relaţia:

$$v_s = \frac{\alpha_t \cdot I_s}{3600 \cdot \gamma \cdot S_i} \quad [\text{cm/s}] \ , \tag{6.15}$$

în care α_t este coeficientul de topire al electrozilor (α_t = 8…12g/Ah), γ - densitatea, în g/cm^3 ($\gamma_{oțel}$ = 7,8g/cm^3; γ_{Al} = 2,6g/cm^3; γ_{Cu} = 8,95g/cm^3), S_i – secţiunea cordonului la o trecere, în cm^2.

Experimental se poate determina viteza de sudare cu relaţia:

$$v_s = \frac{L_{cs}}{t_s} \quad [\text{cm/s}] \ , \tag{6.16}$$

în care L_{cs} este lungimea cordonului de sudură; t_s – timpul de sudare.

e) *Tipul curentului şi polaritatea* se aleg în funcţie de natura materialului de bază, de tipul electrodului folosit şi de natura operaţiei de sudare. Polaritatea se alege ţinând seama că polul pozitiv se încălzeşte mai tare decât cel negativ. De aceea, *polaritatea directă* se va utiliza la sudarea pieselor cu masă mare sau când este necesară o pătrundere mare, iar *polaritatea inversă*, la sudarea pieselor subţiri sau când nu este necesară o pătrundere mare.

Curentul de sudare se alege în funcţie de grosimea materialului de sudat (respectiv grosimea cusăturii). Se poate calcula cu relaţia:

$$I_s = (\alpha + \beta \cdot \mathrm{d_e}) \ s \quad [\text{A}] \ , \tag{6.17}$$

în care α = 20 şi β = 6 sunt coeficienţi determinaţi pe cale experimentală; s – grosimea materialelor de sudat; d_e – diametrul electrodului.

Curentul de sudare I_s, în funcţie de diametrul electrodului d_e şi grosimea cusăturii, se prezintă în tabelul 6.8.

f) *Stabilirea regimului termic*. Energia introdusă în unitatea de timp într-o anumită zonă a pieselor de sudat variază direct proporţional cu puterea consumată la sudare şi cu randamentul transferului de căldură de la sursa de căldură spre metalul de bază şi invers proporţional cu viteza de sudare. Se definesc în acest sens mărimile:

Tabelul 6.8. *Valorile curentului de sudare I_s în funcție de diametrul electrodului d_e*

Grosimea cusăturii [mm]	Diametrul electrodului		Curentul de sudare I_s [A]	
	neînvelit	învelit	neînvelit	învelit
2	2	2	50…70	40…60
3	3	2	80…120	45…60
4	4	3,25	150…200	100…150
5	4	5	160…220	120…180
6	5	4	170…250	150…220
8	5	6	170…250	200…300
10	5	6	180…260	280…400

- *energia liniară E_l*, care se poate calcula cu relația:

$$E_l = 36 \cdot \frac{U_a \cdot I_s}{v_s} \cdot \eta \quad [\text{J/cm}] \ , \tag{6.18}$$

în care $\eta \cdot U_a \cdot Is = Q$ este puterea termică a sursei; η - randamentul termic (η = =0,7...0,9) ; v_s – viteza de sudare.

Câteva valori orientative pentru energia liniară E_l în funcție de diametrul electrodului folosit la sudarea manuală cu arc electric se prezintă în tabelul 6.9.

Tabelul 6.9. *Valorile energiei liniare E_l, în funcție de diametrul electrodului*

Sudarea manuală	
Diametrul electrodului d_e [mm]	Energia liniară E_l [kJ/cm]
2,5	3 - 15
3,25	7 - 11
4,0	9 - 13
5,0	11-18
6,0	13-20

- *coeficientul de depunere C_d* se determină experimental, în laborator, dar se poate calcula şi cu relația:

$$C_d = \frac{m_d}{I_s \cdot t_s} \quad [\text{g/Ah}] \ , \tag{6.19}$$

în care m_d este masa de metal depus la o trecere, în grame; t_s - timpul de sudare, în ore; I_s - curentul de sudare, în amperi.

Masa de metal depus poate fi determinată prin cântărirea piesei înainte şi după sudare şi rezultă:

$$m_d = m_{ps} - m_{pi} \ , \tag{6.20}$$

în care m_{ps} este masa piesei după sudare; m_{pi} - masa piesei înainte de sudare.

Masa de metal depus m_d se poate calcula şi teoretic cu relaţia:

$$m_d = \rho \cdot V_{el} = \rho \cdot \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \cdot l_e \quad , \tag{6.21}$$

în care V_{el} este volumul de material consumat (volumul electrodului consumat de lungime l_e); ρ - densitatea metalului din care este confecţionat electrodul.

- *adâncimea de pătrundere p* se poate estima folosind relaţia:

$$p = (0{,}3...0{,}5)\sqrt{E_l} \quad , \tag{6.22}$$

în care E_l este energia liniară.

Pentru estimarea caracteristicilor cordonului de sudură se mai calculează:

- *coeficientul de pătrundere* ψ_p, cu relaţia:

$$\psi_p = \frac{B}{p} \quad , \tag{6.23}$$

- *coeficientul de supraînălţare* ψ_b, cu relaţia:

$$\psi_b = \frac{B}{h} \quad , \tag{6.24}$$

- *coeficientul de formă* ψ, cu relaţia:

$$\psi = \frac{B}{H} \quad , \tag{6.25}$$

în care *B* este lăţimea cusăturii sudate; *H* - înălţimea cusăturii sudate; *h* – supraînălţarea; *p* – pătrunderea.

6. *Execuţia propriu-zisă a cusăturii sudate* se face după ce piesele de sudat au fost poziţionate şi fixate corespunzător cu rostul îmbinării. Sudorul echipat corespunzător procedează la aprinderea arcului electric şi conducerea lui. Aprinderea se face prin atingerea uşoară a electrodului de piesă şi retragerea rapidă a lui la o distanţă egală cu cel mult diametrul electrodului. Electrodul se ţine înclinat la 15°...45° spre sensul de sudare şi i se imprimă simultan trei mişcări:

- o mişcare de avans către piesă, cu o viteză egală cu viteza de topire a electrodului;

- o mişcare de deplasare în lungul rostului îmbinării, cu o viteză egală cu viteza de sudare;

- o mişcare de pendulare după diferite traiectorii, pentru realizarea lăţimii cordonului de sudură.

Pentru a realiza o cusătură sudată de bună calitate arcul trebuie să ardă stabil. Acest lucru se realizează dacă cele trei mişcări simultane combinate vor menţine în permanenţă aceeaşi lungime a arcului electric (de regulă egală cu diametrul electrodului).

Deoarece la amorsarea arcului se formează cratere, este recomandabil ca aceasta să se facă pe plăcuțele de fixare reciprocă a pieselor de sudat, plăcuțe care se îndepărtează în final.

Întreruperea corectă a arcului, la terminarea cusăturii sau a electrodului, se face deplasând electrodul în lungul cusăturii, în nici un caz nu se va ridica electrodul brusc de pe piesă pentru a se evita formarea craterelor.

Pentru obținerea unor cusături corecte, de mare importanță este poziția electrodului şi poziția cordonului de sudură (tab. 6.10), existând câteva recomandări:

Tabelul 6.10. *Clasificarea îmbinărilor în funcție de poziția în spațiu a cordonului de sudură*

Nr.crt.	Poziția în spațiu a cordonului de sudură	Denumire	Simbolizare
1		Orizontală	A_1
2		Orizontală în plan vertical (în cornişă)	A_2
3		Pe plafon (peste cap)	A_3
4		Verticală ascendentă sau descendentă	A_4
5		Orizontală cu un perete vertical	B_1
6		Orizontală în jgheab	B_2

Tabelul 6.10. (*continuare*)

7		Pe plafon (peste cap)	B_3
8		Verticală ascendentă sau descendantă	B_4

\- *la sudarea pe orizontală* trebuie respectate înclinarea electrodului şi mişcarea de pendulare reprezentată în figura 6.34.

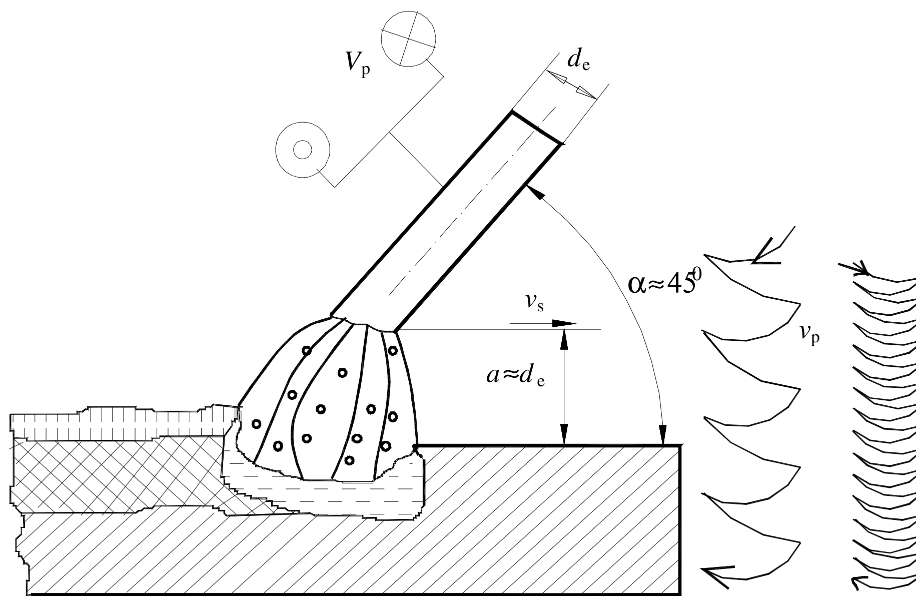


Fig. 6.34. Înclinarea electrodului şi mişcarea de pendulare la sudarea orizontală cu electrod învelit: v_s – viteza de sudare; v_p – viteza de pendulare.

\- *la sudarea pe verticală* electrodul trebuie să facă un unghi α = 40...45° cu verticala (figura 6.35), iar mişcarea de pendulare se face cu bucle de o parte şi de alta. Sudarea se poate executa vertical ascendent sau vertical descendent;

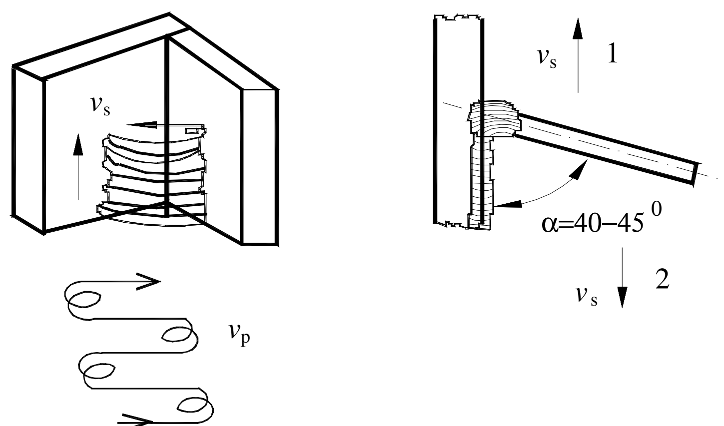


Fig. 6.35. Poziția electrodului şi mişcarea de pendulare la sudarea pe verticală:
1 – sudarea ascendentă; 2 – sudarea descendentă; v_s – viteza de sudare; v_p – viteza de pendulare.

- *la sudarea cusăturilor orizontale în plan vertical* (fig.6.36) trebuie evitată încălzirea excesivă a marginii piesei inferioare, de aceea arcul se amorsează pe piesa inferioară şi apoi este condus pe piesa superioară şi se menține până la scurgerea topiturii de metal topit;

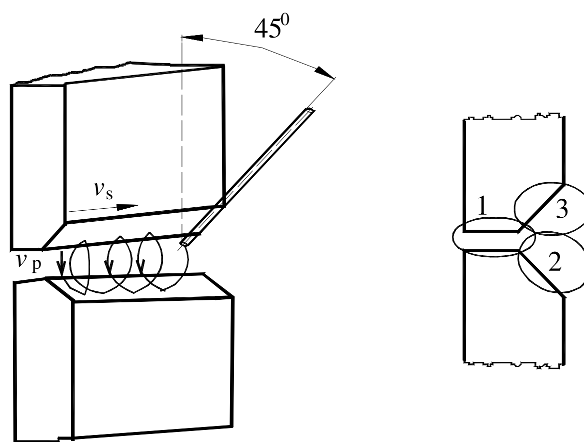


Fig. 6.36. Poziția electrodului şi mişcarea de pendulare la sudarea orizontală în plan vertical (sudarea în cornişă):
a – schema de principiu; b – ordinea depunerii rândurilor de sudură.

- *la sudarea pe plafon* trebuie ca baia de metal topit să fie mică, de aceea arcul electric se menține foarte scurt şi se mânuieşte rapid, ordinea de depunere a straturilor fiind cea prezentată în figura 6.37.

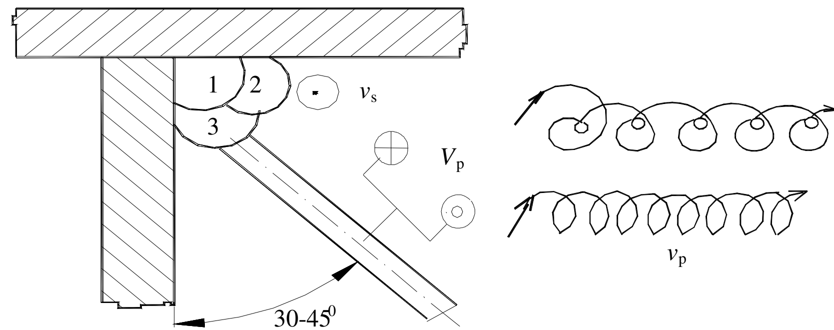


Fig. 6.37. Poziția electrodului, mişcarea de pendulare şi ordinea de depunere a straturilor la sudarea pe plafon:
1, 2, 3 – straturi de sudură; v_s – viteza de sudare; v_p – viteza de pendulare.

- *la sudarea pieselor pe orizontală în colț* trebuie respectată poziționarea prezentată în figura 6.38.

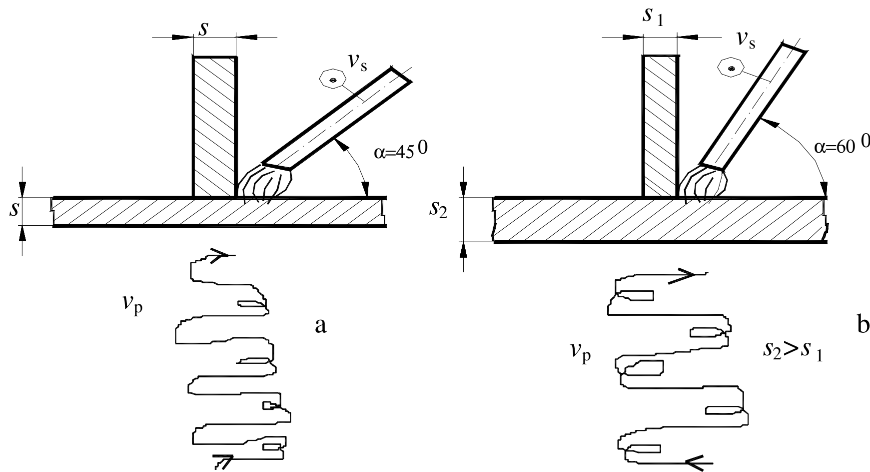


Fig. 6.38. Poziționarea electrodului şi mişcarea de pendulare la sudarea orizontală în colț:
a – piese de aceeaşi grosime s; b – piese de grosimi diferite cu $s_2 > s_1$.

7. *Curățirea cusăturii sudate* constă în îndepărtarea stratului de zgură format prin solidificarea învelişului electrodului topit sub acțiunea arcului. Îndepărtarea stratului de zgură se face în prima fază mecanic, prin ciocănirea cu ciocanul de sudură, şi, dacă este cazul, se face şi o curățire cu perii de sârmă, cu jet de aer comprimat sau jet de alice.

8. *Controlul cusăturilor sudate* constă în determinarea eventualelor defecte care au apărut în îmbinarea sudată în urma desfăşurării procesului de sudare. Defectele cusăturilor sudate sunt abateri de la continuitatea, forma, dimensiunile,

aspectul exterior, structura şi compoziția chimică prescrise, pentru o anumită cusătură sudată, în documentația tehnologică. Aprecierea şi caracterizarea defectelor trebuie să ia în considerare tipul defectului, poziția în îmbinare, mărimea şi forma, secțiunea materialului în care se află defectul, numărul de defecte pe o anumită suprafață, solicitările prescrise construcției sudate etc.

Producerea defectelor este rezultatul unor greşeli de proiectare, de tehnologie şi unele de execuție.

Principalele defecte ce pot apărea la sudarea manuală cu arc electric sunt:

- *crăpăturile şi fisurile longitudinale, transversale, radiale şi în crater,* datorate transformărilor structurale ce au loc în ciclul încălzire-răcire şi factorilor de natură tehnologică sau constructivă;

- *porii şi suflurile* datorate umidității spațiului băii de zgură, compoziției chimice a materialului de adaos şi regimului de lucru necorespunzător;

- *incluziunile metalice şi nemetalice* (oxizi, silicați, sulfuri, nitrați etc.) datorate reacției băii de sudură cu elementele din mediul înconjurător sau includerii de resturi de zgură sau flux;

- *lipsa de pătrundere* datorată unei pregătiri necorespunzătoare a rostului şi unui regim de sudare necorespunzător;

- *lipsa de topire* datorită curățirii neîngrijite a marginilor de îmbinat şi alegerii unor parametri tehnologici necorespunzători;

- *supraîncălzirea şi arderea* datorate solicitărilor la care este supus metalul în ciclul termic de încălzire-răcire (de exemplu, folosirea unor intensități mari de curent la viteze mici de sudare).

Defectele pot fi superficiale, deschise, uneori vizibile, sau închise, fără vizibilitate.

În majoritatea cazurilor, pentru punerea în evidență a defectelor cusăturilor sudate se folosesc metode de control nedistructiv, cele mai des întâlnite fiind: controlul cu radiații penetrante, cu ultrasunete, cu pulberi magnetice, cu lichide penetrante, cu curenți turbionari, prin emisie acustică şi prin analiză termografică.

O dată cunoscute defectele se pot lua măsurile necesare remedierii acestor defecte prin lucrări suplimentare (dacă sunt defecte remediabile).

9. *Stabilirea tratamentului termic* are drept scop obținerea structurilor corespunzătoare unor anumite asociații de proprietăți, precum şi reducerea tensiunilor remanente.

Principalele tipuri de tratamente termice aplicate îmbinării sudate sunt:

- *recoacerea de detensionare,* ce constă în încălzirea oțelului la 550-650°C (pentru neferoase la 220-400°C), menținerea la această temperatură în funcție de grosime (se recomandă 2-3min pentru fiecare un milimetru de grosime şi nu mai puțin de 20-30min), răcirea lentă (o dată cu cuptorul) până la 300°C şi răcirea în aer liniştit până la temperatura mediului ambiant. Oțelurile cu granulație fină necesită tratamentul termic atunci când grosimea lor este mai mare de 30 mm şi se

face o detensionare la temperaturi cuprinse intre 560...620°C, cu o menţinere de 2 min/1mm grosime şi răcire în aer. În cazul pieselor din alamă se recomandă o recoacere joasă (încălzire la 270...300°C şi răcire lentă) în vederea eliminării tensiunilor remanente. Pentru piesele din aluminiu se face o recoacere la 300...350°C cu o răcire lentă, în vederea obţinerii unei granulaţii fine şi eliminării tensiunilor remanente;

- *revenirea,* ce constă în încălzirea la AC_1 – (20...50°C), o menţinere la această temperatură timp de 30...40min şi răcirea cu o anumită viteză. Se aplică acolo unde apar structuri de călire şi are drept scop eliminarea tensiunilor remanente şi reducerea fragilităţii;

- *normalizarea,* ce constă într-o încălzire în domeniul temperaturilor de austenitizare (AC_3+30...50°C), menţinerea timp de 20...30 minute şi răcirea în aer liber. Are drept scop obţinerea unei structuri fine şi uniforme în toată masa îmbinării sudate.

În funcţie de natura transformărilor structurale ce pot apărea în urma procesului de sudare, natura materialului de bază şi de adaos, tipul construcţiei sudate şi rolul funcţional al acesteia în exploatare se pot aplica şi alte tratamente termice (călire, îmbătrânire etc.).

6.7.4.4. Câteva particularităţi la sudarea manuală cu arc electric pentru materialele cele mai des întrebuinţate

Având în vedere sudabilitatea foarte diferită a gamei foarte largi de materiale este aproape imposibil de întocmit un procedeu tehnologic de sudare cu caracter de generalitate după etapele din paragraful 6.7.4.3. De aceea, anumite etape prezintă o serie de particularităţi, corespunzător cu grupa de materiale la care se aplică, astfel:

a. *Pentru oţelurile-carbon şi slab aliate:*

- se recomandă preîncălzirea şi un tratament termic dacă conţinutul de C_e este cuprins între 0,45...0,80%;

- se folosesc electrozii slab aliaţi cu 0,4...0,5%Cu şi 0,6...0,7%Ni;

- se preferă sudarea în curent continuu, dar se poate folosi şi sudarea în curent alternativ;

- pentru grosimi mici se recomandă electrozi cu înveliş rutilic sau celulozic şi sârme cu diametrul mai mic de 1,6mm; pentru grosimi mari se recomandă electrozi bazici;

- pentru cusături de colţ se folosesc electrozi cu înveliş acid, titanic sau bazic, fără pulbere de Fe;

- la oţelurile aliate cu crom, de tip feritic, ridicarea temperaturii peste 950°C duce la mărirea grăunţilor cristalini, de aceea, pentru obţinerea de grăunţi mici, materialul trebuie deformat plastic, menţinut la temperatura potrivită şi ales un regim de sudare astfel încât la zona influenţată termic să aibă o lăţime cât mai mică;

- la oțelurile cu crom, de tip austenitic, apare în zona influențată termic fenomenul de precipitare a carburilor cu crom (structuri casante ce apar la 500...700°C), de aceea trebuie făcută o răcire rapidă în intervalul 500...700°C și introduse elemente de aliere ce leagă C mai repede decât Cr (ca de exemplu: Ti, Ta, Nb), numite stabilizatoare;

- la oțelurile austenitice manganoase, austenita fiind nestabilă, o răcire lentă poate duce la formarea martensitei, de aceea evitarea acestor fenomene se face sudând cu cusături scurte şi răcind artificial materialul în timpul sudării;

- pentru oțelurile cu granulație fină se aleg electrozi cu înveliş bazic, calcinați la 250...300°C timp de 2ore şi cu diametrul de 1,5...5,0mm, deoarece ele sunt susceptibile la fisurare şi la acțiunea fragilizantă a hidrogenului;

- pentru oțelurile inoxidabile cu granulație fină se folosesc electrozi cu înveliş metalic sau bazic cu conținut scăzut de H_2 şi se sudează în curent continuu şi cu polaritate inversă;

- la pregătirea pieselor se recomandă a se evita lovirea, zgârierea suprafețelor şi sudarea să se facă pe cât posibil fără împroşcări de stropi şi cu arc scurt, pentru a nu permite pătrunderea azotului în cusătură.

b. *Pentru fonte,* toate recomandările sunt legate de efectele negative ale conținutului mare de carbon şi ale fluidității ridicate, de aceea:

- se recomandă ca pregătirea rostului să se facă astfel încât accesibilitatea la locul de sudare să fie cât mai bună;

- se îndepărtează defectele numai prin prelucrare mecanică (rupturi, fisuri, incluziuni, crăpături), pe o lungime de minim 10mm şi se rotunjesc capetele cu o rază minimă de 6mm;

- sudarea se face cu electrozi de diametre minime şi folosind curenți de sudare minimi;

- poziția de sudare cea mai recomandată este cea orizontală;

- cusătura se va curăți după fiecare trecere şi se va supune unui riguros control;

- sudarea se face la cald (cu preîncălzire înaltă la 600...800°C) sau la rece şi la semicald (cu preîncălzire la 200...500°C);

- sudarea se face cu electrozi din fontă cu un conținut de 3...3,6%C, 0,5...0,8%Mn, 0,3...0,5P% şi 3,0...3,5%Si, cu înveliş care să conțină grafit, cretă, silicat de calciu, ferotitan şi sticlă solubilă;

- sudarea se face în curent continuu, cu polaritate directă, cu o intensitate de 70...80A pentru un milimetru de diametru al electrodului;

- pentru a creşte rezistența îmbinărilor se recomandă utilizarea de şuruburi de consolidare, care se amplasează şi se dimensionează în funcție de grosimea pieselor de sudat (fig. 6.39).

- sudarea la rece se face asigurând o participare minimă a metalului de bază, cu parametri reduşi ai regimului de sudare (d_e = 1,0...2,0mm; I_s = 50...70A; U_a = 10...21V; v_s = 10...12m/h);

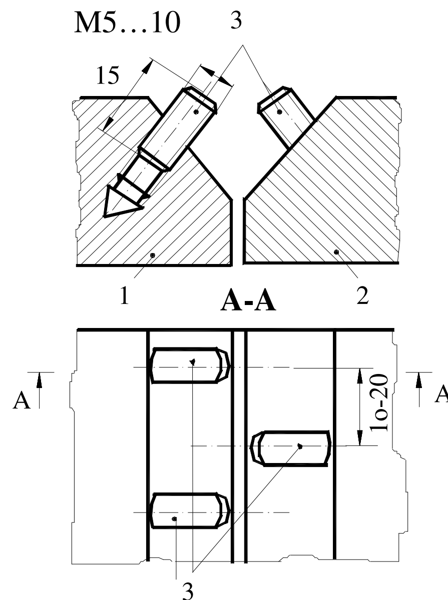


Fig. 6.39. Formarea si modul de amplasare a şuruburilor de consolidare:
1; 2 – materialul de baza; 3 – şuruburi de consolidare.

- se recomandă şi folosirea unor electrozi din metale şi aliaje neferoase pe bază de Cu şi Fe (pentru remedierea defectelor pieselor turnate), de Cu şi Ni (pentru remedierea defectelor descoperite în urma prelucrărilor mecanice) sau de Ni şi Fe (la remedierea defectelor mici din piesele de mare rezistenţă).

c. *Pentru aluminiu şi aliajele sale,* toate recomandările sunt legate de îndepărtarea peliculei de Al_2O_3, care se topeşte la 2 030°C, împiedicând pătrunderea picăturilor în baia de sudură, şi introducerea unei cantităţi mari de căldură pentru compensarea pierderilor datorită conductibilităţii termice mari, de aceea:

- se recomandă folosirea unor electrozi din cărbune, în curent continuu, cu polaritate directă şi flux compus din 50%KCl + 14%LiCl + 8%NaF + 28%ClNa sau electrozi înveliţi (învelişul având aceeaşi supoziţie);

- introducerea unui procent de până la 0,7%Fe diminuează efectul de fisurare foarte accentuat;

- pregătirea marginilor pentru sudare se face exclusiv prin mijloace mecanice, forma rostului fiind prezentată în figura 6.40;

- pentru grosimi mai mari de 10 mm se recomandă o preîncălzire la 100…400°C, pentru a se obţine o răcire cât mai lentă şi a reduce tendinţa de fisurare;

- la sudare arcul electric trebuie să aibă o lungime cât mai mică, regimul de sudare indicat fiind prezentat în tabelul 6.11;

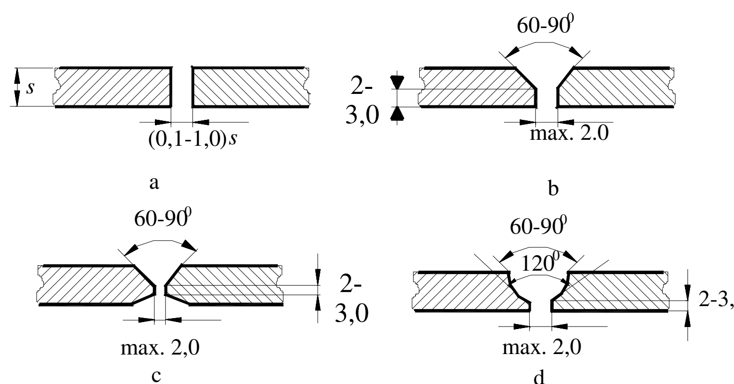


Fig. 6.40. Pregătirea rostului la sudarea aluminiului:
a - pentru s = 1…5,0 mm; b – pentru s = 6…12,0 mm; c - pentru s = 5…8,0 mm; d – pentru s >12,0 mm.

Tabelul 6.11. *Regimuri de sudare recomandabile la sudarea manuală cu arc electric a aluminiului şi aliajelor sale*

Grosimea piesei [mm]	Diametrul electrodului d_e [mm]	Curentul de sudare I_s [A]	Tensiunea arcului U_a [V]
6	5	280…300	30…34
8	6	300…320	30…34
10	-	320…380	30…34
12	-	350…450	32…36
16	8	400…450	32…36
20	-	450…550	32…36

- pentru creşterea rezistenței la coroziune se recomandă introducerea unor elemente ca florura de Na, clorura de K, clorura de Ti şi criolitul;

- se impune uscarea electrozilor pentru îndepărtarea hidrogenului, deoarece acesta provoacă apariția fisurilor şi a porilor în cusătura sudată.

d. *Pentru cupru şi aliaje pe bază de* Cu recomandările sunt legate de marea sa afinitate față de O_2 cu care formează CuO sau Cu_2O, element ce apoi formează împreună cu Cu eutecticul Cu +CuO_2, care se precipită la marginea grăunților cristalini şi conduce la fisurare şi la conductibilitate termică ridicată, de aceea:

- se recomandă folosirea unor surse puternice de căldură pentru compensarea pierderilor datorită conductibilității termice ridicate;

- se cere o preîncălzire la 250…300°C pentru s = 5…10,0 mm şi respectiv la 700…750°C pentru $s \geq$ 20,0 mm pentru a evita pierderea unor anumite componente de aliere;

- electrozii trebuie uscați înainte de sudare, deoarece hidrogenul reacționează cu oxidul de cupru formând vapori de apă şi determină fisurarea materialului (boala de hidrogen a cuprului);

- se recomandă electrozi din cărbune alimentaţi cu curent continuu cu polaritate directă, sau electrozi înveliţi, învelişul fiind format din minereu de mangan, fluorină, grafit, ferosiliciu, aluminiu praf, feldspat şi feromangan;

- curentul de sudare se alege în funcţie de diametrul electrodului ($I_s = 50d_e$);

- bronzurile cu Sn şi Zn se sudează foarte greu, la răcire formând produşi fragili (plasticitatea scade brusc în jur de 500°C), de aceea este necesară limitarea conţinutului de S, C şi O_2;

- la bronzurile cu Si se recomandă după sudare tratamentul termic de recoacere la aproximativ 600…650°C;

- se recomandă teşirea marginilor numai pentru grosimi mai mari de 4,0 mm şi preîncălzirea aleasă funcţie de grosimea pieselor.

6.7.4.5. Variante ale sudării manuale cu arc electric

Au apărut pentru a îndepărta sau a reduce dezavantajele procedeului legate de:

- productivitatea scăzută mai ales în cazul sudării tablelor groase;

- calitatea scăzută a cusăturii sudate datorită neuniformităţilor cordonului de sudură pe lungimea sa şi dependenţei în exclusivitate de îndemânarea şi pregătirea sudorului;

- pierderile mari de metal prin stropi şi prin neutilizarea integrală a electrozilor de sudare;

- necesită materiale de protecţie ale operatorului contra acţiunii arcului electric şi stropilor de metal topit;

- probabilitatea mare de apariţie a defectelor (fisuri, crăpături, goluri, incluziuni etc.), deoarece arcul electric şi baia de sudură nu au o protecţie bună împotriva pătrunderii aerului.

Principalele procedee de sudare utilizate, care elimină o parte din aceste dezavantaje sunt:

- *sudarea cu electrozi bimetalici*, care se foloseşte la sudarea fontelor sau oţelurilor înalt aliate de compoziţii complexe. Procedeul foloseşte electrozi speciali (fig. 6.41) al căror miez metalic se face din 2 – 3 metale sau aliaje care prin topire dau un aliaj complex. Peste miez se trage un înveliş stabilizator, iar la exterior învelişul poate fi bazic, acid, rutilic etc.;

- *sudarea cu fascicul de electrozi*, care se foloseşte pentru creşterea productivităţii la sudare. La acest procedeu se utilizează un fascicol format din 2, 3 sau mai mulţi electrozi (fig. 6.42) fixaţi într-un cleşte port-electrod special. La început amorsarea arcului are loc la electrodul care atinge primul piesa şi, pe măsura topirii acestuia, arcul electric se va transfera succesiv la electrozii alăturaţi. Alcătuirea fasciculului se poate face din electrozi înveliţi sau combinat (fig.6.42.b);

- *sudarea cu electrod culcat*, care se foloseşte pentru obţinerea unor cordoane de sudură uniforme şi de bună calitate pe lungime mare. Procedeul foloseşte un electrod special 1 (fig. 6.43) prevăzut cu un înveliş subţire 2, elaborat

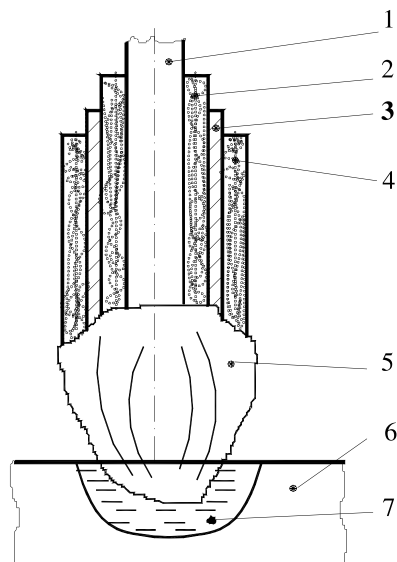


Fig. 6.41. Sudarea cu electrod bimetalic:
1 – inima electrodului; 2 – înveliş stabilizator;
3 – cămaşă de cupru; 4 – înveliş bazic;
5 – arcul electric; 6 – metalul de bază; 7 – baia de sudură.

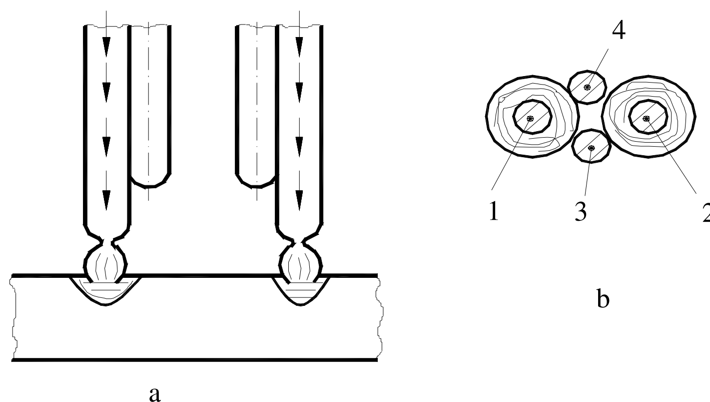


Fig. 6.42. Sudarea cu fascicol de electrozi:
a – schema de principiu; b – alcătuirea fascicolului de electrozi: 1, 2 – electrozi înveliți;
3,4 – electrozi neînveliți.

la lungimea corespunzătoare (300…2 000 mm), care se aşează culcat în rostul îmbinării deja pregătit. Peste electrod se aşează o riglă de cupru 3, izolată de acesta printr-o hârtie de izolație 4. La o extremitate se conectează capul electrodului şi piesa la o sursă de sudare, iar în extremitatea opusă se amorsează arcul electric prin scurtcircuitare cu un electrod de wolfram. Arcul electric începe să ardă cu o

lungime constantă şi pe măsură ce electrodul se consumă, arcul se deplasează în lungul cusăturii, rezultând o sudură de secţiune constantă, de bună calitate, foarte aspectuoasă şi de mare productivitate.

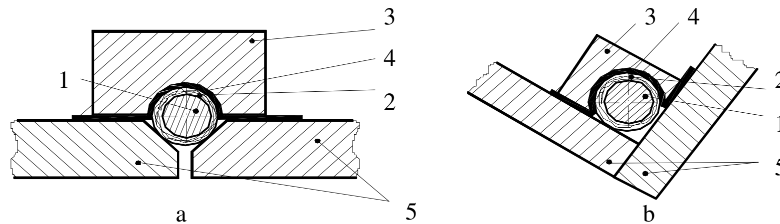


Fig. 6.43. Sudarea cu electrod culcat:
a – la o îmbinare cap la cap; b – la o îmbinarea de colţ: 1 – electrod; 2 – învelişul electrodului; 3 – riglă de cupru; 4 – hârtie de izolaţie; 5 – metal de bază.

- *sudarea cu arc trifazat*, care se foloseşte la sudarea unor table de grosimi mai mari şi pentru obţinerea unor cusături de lăţime mare. Arcul trifazat este format din trei arce electrice 1, 2 şi 3 alimentate de la o sursă de curent alternativ trifazat 4, arzând într-un spaţiu comun, între electrozii de wolfram 5 şi 6 şi metalul de bază 7 (fig. 6.44).

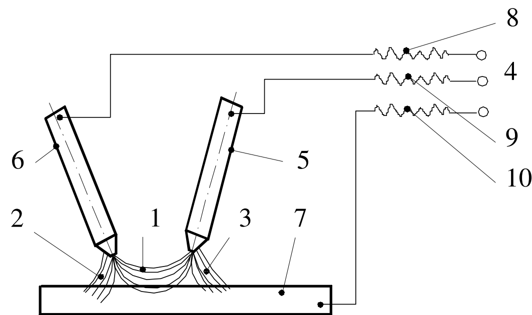


Fig. 6.44. Sudarea cu arc trifazat:
1, 2 , 3 – arce electrice; 4 – sursa de curent alternativ trifazat; 5 , 6 – electrozi de wolfram; 7 – metalul de bază; 8, 9, 10 – bobine de reactanţă.

Pentru a regla valoarea curenţilor, în serie cu metalul de bază şi electrozii sunt bobinele de reactanţe 8, 9 şi 10. Arcul trifazat are o stabilitate mai bună, astfel că tensiunea de mers în gol este mai mică şi randamentul este mai bun;

- *sudarea cu flux magnetic*, care se foloseşte în cazul în care se doreşte o mare productivitate. La acest procedeu materialul de adaos este sub formă de sârmă continuă neînvelită 1, ce este adusă automat în rezervorul 2 (fig. 6.45), în care se găseşte un flux metalo - ceramic 3, care are proprietatea de a se magnetiza şi de a fi

atras de sârma electrod în momentul închiderii circuitului electric între metalul de bază 4 şi duza de contact 5. Granulele de flux se lipesc de sârmă formând un înveliş 6, al cărui diametru depinde de diametrul orificiului de ieşire 7 din rezervorul de flux.

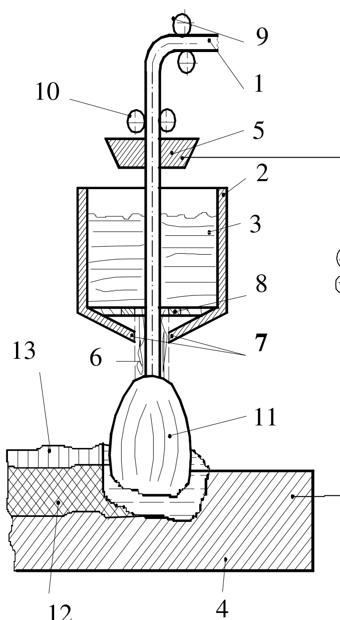


Fig. 6.45. Schema de principiu la sudarea cu flux magnetic:
1 – sârmă electrod neînvelită; 2 – rezervor de flux; 3 – flux metalo-ceramic; 4 – metal de bază; 5 - duza de contact; 6 – înveliş de flux; 7 – orificiu de ieşire din rezervor;8 – magnet permanent; 9 – role de antrenare; 10 – role de îndreptare; 11 – arc electric; 12 – cusătura sudată; 13 – zgură.

Pentru a împiedica fluxul să cadă din rezervor, când sârma nu este parcursă de curent, se prevede un magnet inelar 8. Datorită pulberii de Fe, ce se introduce pentru magnetizarea fluxului, cantitatea de metal depus creşte, şi productivitatea este cu 50…60% mai mare ca la sudarea manuală cu electrozi înveliți;

- *sudarea cu electrod de cărbune*, care se foloseşte în general la sudarea tablelor subțiri din metale uşor fuzibile. Electrodul 1, din cărbune amorf sau grafit, este legat la catod, în timp ce metalul de bază 2 (fig.6.46) este legat la anod, formându-se un arc 3, cu baza mare spre anod. Arcul arde stabil din cauza temperaturii mari a petelor electrodice de grafit. Sudarea se poate face cu sau fără material de adaos, cu unul sau doi electrozi de cărbune. Procedeul se utilizează în cazul sudării bidoanelor, butoaielor din tablă şi la sudarea materialelor neferoase, obținându-se productivități mari.

- *sudarea manuală cu arc electric sub apă*, care se foloseşte la repararea unor construcții metalice subacvatice. Se deosebesc două metode: *sudarea umedă cu arc electric* (amorsarea arcului şi lucrul se realizează direct în apă) şi *sudarea uscată cu arc electric* (lucrarea se execută în camere de presiune imersionate). Cel

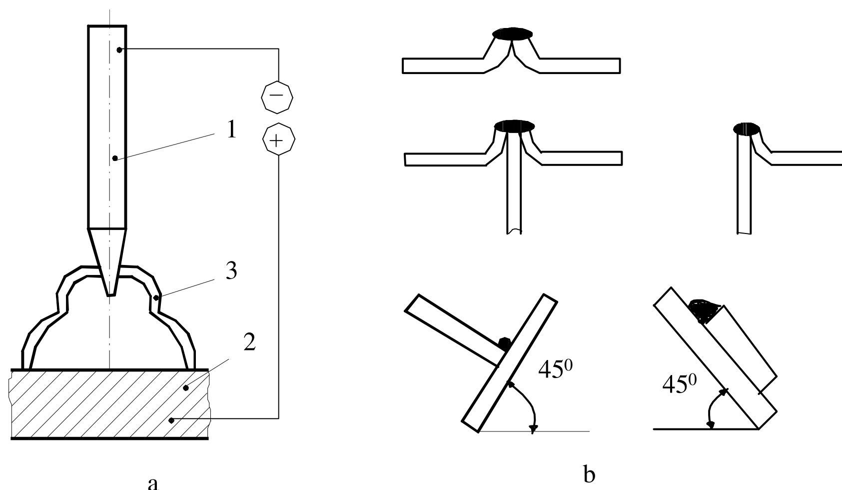


Fig. 6.46. Sudarea cu electrod de cărbune:
a – schema de principiu; 1 – electrod de cărbune; 2 – metal de bază; 3 – arc electric; b – diferite tipuri de îmbinări obținute.

mai mult se foloseşte prima metodă, deoarece este mai simplă şi mai ieftină. Căldura din arcul electric, ca şi presiunea gazelor, fac să nu ajungă apa în spațiul arcului. Se folosesc electrozi de construcție specială (fig. 6.47), tija metalică 1 fiind dintr-un oțel cu conținut scăzut de carbon (0,1%C), iar învelişul 2 poate fi acid, celulozic, titanic sau bazic. Învelişul conține elemente ca minereu de fier, bioxid de titan, feldspat, fluorină, feroalije, marmură, concentrat de titan, minereu de zirconiu, amidon sau dextrină, făină de lemn, cuarț, cretă şi sticlă solubilă ca liant.

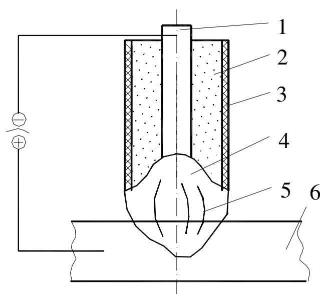


Fig. 6.47. Schema de principiu la sudarea sub apă:
1 – tija metalică a alectrodului; 2 – învelişul electrodului; 3 – strat hidroizolator; 4 - crater; 5 – arc electric; 6 – metal de bază.

Pentru a proteja învelişul împotriva acțiunii apei, pe suprafața acestuia se aplică prin imersionare un strat impermeabil 3, din parafină, nitrolacuri sau bachelită. Se fac 2…4 imersionări cu uscare intermediară eficientă. Efectiv, învelişul electrozilor este destul de gros şi sârma se topeşte mult mai repede la capătul electrodului, formându-se un crater 4, care facilitează arderea stabilă a

arcului electric 5, în mediul subacvatic. Port-electrozii au o construcție specială, care urmărește realizarea unei izolații electrice eficiente, iar sursele de curent au tensiunea de mers în gol ridicate.

6.7.5. Sudarea cu arc electric acoperit sub strat de flux

6.7.5.1. Schema de principiu. Avantaje

La acest procedeu de sudare, arcul electric 1 (fig. 6.48), care arde între electrodul 2 și metalul de bază 3, este în permanență acoperit de un strat de flux topit 4. Sârma electrod elaborată în colaci este antrenată de rolele de antrenare 5 și îndreptată de sistemul de role 6 și 7, ajungând în rezervorul 8 în care se găsește în permanență fluxul 9. Datorită acțiunii arcului electric o parte din metalul de bază 3 și particulele de material de adaos topit 10 formează baia de sudură 11, care după solidificare va forma cusătura sudată 12. Vaporii de metal și gazele rezultate formează în jurul arcului o cavitate 13 închisă la partea superioară de pelicula de flux topit 4. Pelicula de flux topit, prin solidificare, va forma stratul de zgură 14, ce se va îndepărta după terminarea procesului de sudare. Deasupra stratului de zgură rămâne fluxul netopit 16, care nu a reacționat cu baia de sudură și care se recuperează.

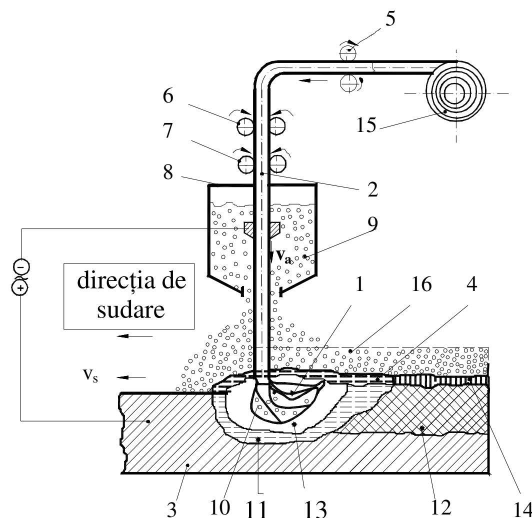


Fig. 6.48. Schema de principiu la sudarea sub strat de flux:
1 – arcul electric; 2 – sârma-electrod; 3 – metalul de bază; 4 – pelicula de flux topit; 5 – rolele de antrenare; 6, 7 – rolele de îndreptare; 8 – rezervorul de flux; 9 – fluxul; 10 – picăturile de metal de adaos; 11 – baia de sudură; 12 – cusătura sudată; 13 – cavitatea arcului; 14 – stratul de zgură; 15 – colacul de sârmă – electrod; 16 – fluxul rămas netopit; v_s – viteza de sudare; v_a – viteza de avans a sârmei – electrod.

În comparație cu sudarea manuală cu arc electric cu electrozi înveliți, sudarea sub strat de flux prezintă următoarele avantaje:

- arcul electric este acoperit în permanență de un strat de material fuzibil, granular, denumit flux, care realizează o protecție bună contra pătrunderii aerului în zona arcului electric;
- electrodul este continuu (o sârmă înfăşurată în colac);
- deplasarea arcului electric în lungul cusăturii sudate se face automat, productivitatea fiind de 5…20 ori mai mare;
- baia de metal topit este acoperită în permanență de o peliculă de flux topit care o protejează de acțiunea mediului înconjurător;
- pătrundere adâncă, datorită dezvoltării prin efect Joule a căldurii în spațiu restrâns şi a densității mari de curent;
- probabilitate mică de formare a defectelor (incluziuni de zgură, goluri etc.);
- reducerea prețului de cost cu 30…40%, ca urmare a micşorării consumului de material şi a costului teşirii tablelor, precum şi a energiei electrice consumate;
- eliminarea factorilor legați de îndemânarea sudorului şi uşurarea muncii acestora;
- eliminarea cheltuielilor cu materialele de protecție contra acțiunii arcului şi a stropilor de metal lichid.

Procedeul prezintă şi o serie de dezavantaje:

- imposibilitatea supravegherii arcului electric în procesul de sudare;
- necesitatea unei prelucrări mai precise a rostului îmbinării;
- costul ridicat al instalațiilor de sudare.

6.7.5.2. Utilaje folosite la sudarea sub strat de flux

Sudarea prin topire cu arc electric sub strat de flux se poate executa automat sau semiautomat utilajul, fiind construit *corespunzător*.

Un utilaj folosit la *sudarea automată* sub strat de flux trebuie să realizeze:

- avansul sârmei electrod spre materialul de bază;
- alimentarea cu curent a sârmei electrod;
- alimentarea cu flux a zonei sudurii;
- deplasarea capului de sudare în lungul cusăturii.

Dacă nu realizează una din funcțiile de mai sus utilajul este destinat *sudării semiautomate*. În general, o instalație folosită la sudarea automată cu arc electric sub strat de flux se compune din tractorul de sudare 1, care se deplasează pe suportul port–piesă şi port-cărucior 2 (fig.6.49). Pentru realizarea vitezei de avans a sârmei electrod se foloseşte cofretul instalației de distribuție 4 şi sursa de curent 3. Sursa de curent folosită este un transformator monofazat, coborâtor de tensiune, la care reglarea curentului se face prin modificarea întrefierului unei bobine de reactanță, montată în serie cu înfăşurarea transformatorului (fig.6.50). Pe miezul fix

1 este prevăzută înfăşurarea primară 2, iar înfăşurarea secundară 3 este legată în serie cu bobina de reactanţă 4. Piesele de sudat şi sârma electrod se racordează la bornele B1 şi B2. Miezul mobil 5 se manevrează cu ajutorul unui mecanism de tip şurub-piuliţă 6-7 cu ajutorul unui motor electric prin intermediul unui reductor de turaţie.

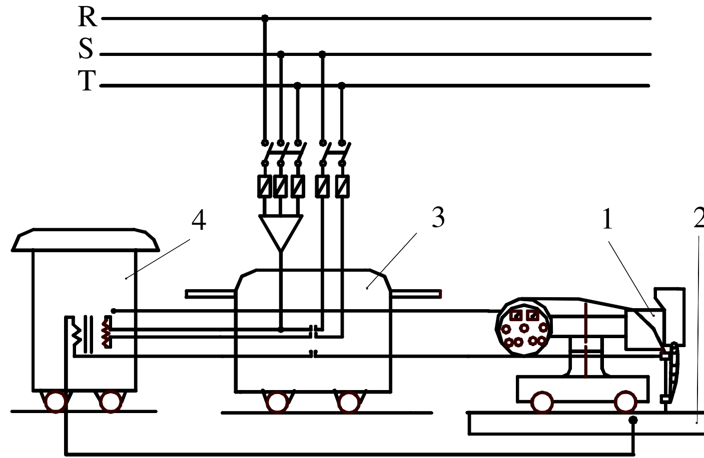


Fig. 6 .49. Schema de principiu a unei instalaţii de sudarea automată sub strat de flux:
1 – tractorul de sudare; 2 – suportul port – electrod; 3 – sursa de sudare; 4 – cofretul instalaţiei.

În funcţie de sistemul de reglare şi menţinere constantă a lungimii arcului electric, se disting următoarele categorii de instalaţii:

- *cu viteza de avans constantă*, reglată iniţial la valoarea corespunzătoare. În acest caz mişcarea de avans a sârmei electrod se execută cu o schemă cinematică formată din motorul electric asincron 1 (fig. 6.51), având turaţia constantă, un reductor de turaţie 2, roţile de schimb 3 şi rolele de antrenare 4. La o modificare a lungimii arcului electric l_a, între curentul de sudare I_s, tensiunea arcului U_a, viteza de topire a sârmei electrod v_t şi căldura degajată de arcul electric Q, pot avea loc următoarele interdependenţe:

$$l_a \downarrow \Rightarrow U_a \downarrow \Rightarrow I_s \uparrow \Rightarrow Q \uparrow \Rightarrow v_t \uparrow \Rightarrow l_a \uparrow, \qquad (6.26)$$

când $v_a > v_t$ (fig.6.51.c); sau

$$l_a \uparrow \Rightarrow U_a \uparrow \Rightarrow I_s \downarrow \Rightarrow Q \downarrow \Rightarrow v_t \downarrow \Rightarrow l_a \downarrow \qquad (6.27)$$

când $v_a < v_t$ (fig. 6. 51. c)

Analizând relaţiile (6.26) şi (6.27) se constată că se obţine efectul invers al fenomenului iniţial (dacă lungimea arcului scade la un moment dat, prin *autoreglare,* l_a revine rapid la valoarea iniţială şi invers).

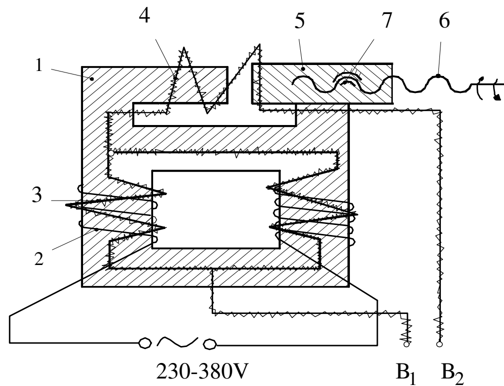


Fig. 6 .50. Schema de principiu a unei surse de curent folosită la sudarea automată sub strat de flux: 1 – miezul fix; 2 – înfăşurarea primară; 3 – înfăşurarea secundară; 4 – înfăşurarea de reactanţă; 5 – miezul magnetic mobil; 6 – şurub; 7 – piuliţă.

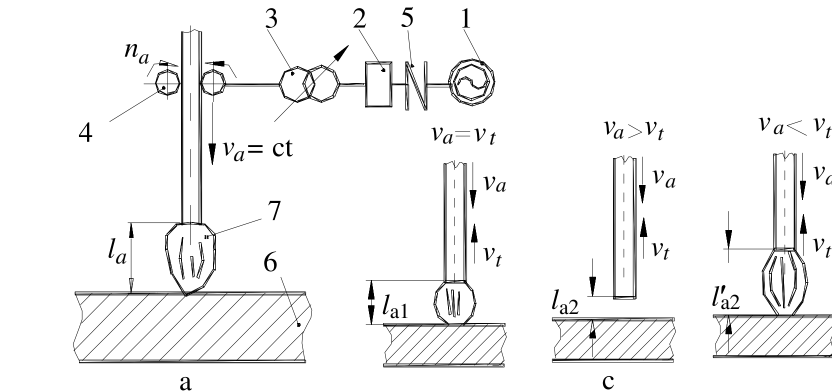


Fig. 6.51. Schema de principiu a autoreglării lungimii arcului l_a, la instalaţiile cu viteză de avans constantă:
a – schema de principiu a instalaţiei de sudare sub strat de flux cu viteză de avans constantă:1 – motor electric asincron; 2 – reductor; 3 – roţi de schimb; 4 – role de antrenare; 5 – cuplaj elastic; 6 – metal de bază; 7 – arc electric;
b – variaţia tensiunii cu intensitatea: CES – caracteristica externă a sursei; CSA – caracteristica statică a arcului electric; v_a – viteza de avans a sârmei; v_t – viteza de topire;
c – modul de autoreglare.

Pentru a se obține un efect de autoreglare cât mai rapid, sursa de curent trebuie să aibă *caracteristica externă coborâtoare* (fig.6.51. b), pentru a sesiza rapid variația de intensitate ΔI;

- *cu viteza de avans variabilă automat*, care realizează mişcarea de avans a sârmei-electrod după schema cinematică din figura 6.52. Turația motorului 1 de curent continuu este variabilă în funcție de valorile tensiunii la bornele înfăşurării de excitație 2, legată în paralel cu arcul electric 3, la sursa de curent 4. Mişcarea rolelor de antrenare 5 şi, deci, viteza de avans v_a se obține de la generatorul de curent continuu 6, prin intermediul motorului de curent continuu 1 şi reductorului 7. Variațiile lungimii arcului electric sunt percepute de înfăşurarea de excitație independentă ca variații de tensiune şi deci ca variații de turații, respectiv variații ale vitezei de avans v_a, după relațiile:

$$l_a \downarrow \Rightarrow U_a \downarrow \Rightarrow n \downarrow \Rightarrow v_a \downarrow \Rightarrow l_a \uparrow \qquad (6.28)$$

sau

$$l_a \uparrow \Rightarrow U_a \uparrow \Rightarrow n \uparrow \Rightarrow v_a \uparrow \Rightarrow l_a \downarrow \ . \qquad (6.29)$$

Pentru a avea o sensibilitate mare a autoreglării, sursele de curent folosite în acest caz trebuie să aibă *caracteristica externă puternic coborâtoare* (fig. 6.52.b) pentru a sesiza rapid variația de tensiune Δu.

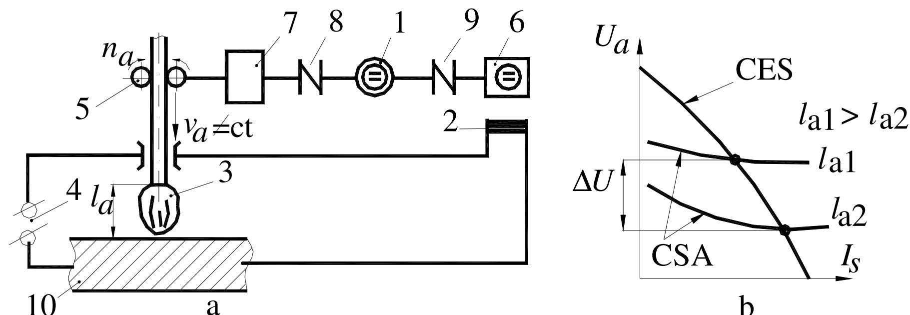


Fig. 6.52. Schema de principiu a autoreglării lungimii arcului electric l_a, la sudarea cu viteză variabilă automat:
a – schema de principiu a instalației de sudare sub strat de flux cu viteză de avans variabilă automat: 1 – motor de curent continuu; 2 – înfăşurare de excitație; 3 – arc electric; 4 – sursa de curent; 5 – role de antrenare; 6 – generator de curent continuu; 7 – reductor; 8, 9 – cuplaje elastice; 10 – metal de bază; b – variația tensiunii cu intensitatea : CES – caracteristica externă a sursei; CSA – caracteristica statică a arcului.

Semiautomatele de sudare sub strat de flux au ca parte automatizată numai operația de avans a sârmei-electrod, cea mai importantă parte a instalației fiind capul de sudare.

6.7.5.3. Tehnologia de execuţie a unui cordon de sudură automat sub strat de flux

Realizarea unui cordon de sudură de bună calitate, care să corespundă din toate punctele de vedere în timpul exploatării, presupune parcurgerea următoarelor etape:

1 - *Analiza materialului de bază* se face în mod analog ca la sudarea manuală cu arc electric cu electrozi înveliţi, ţinându-se cont că sudarea automată sub strat de flux este recomandată pentru piese a căror grosime este cuprinsă între 2 şi 80 mm. Pentru executarea probelor de sudabilitate şi aprecierea compatibilităţii dintre materialul de bază şi cel de adaos se folosesc *plăcuţe tehnologice de capăt*, pe care are loc amorsarea şi încheierea procesului de sudare (fig.6.53), care apoi se îndepărtează şi servesc pentru prelevarea de probe pentru încercările mecanice (tracţiune, rezilienţă), tehnologice şi metalografice;

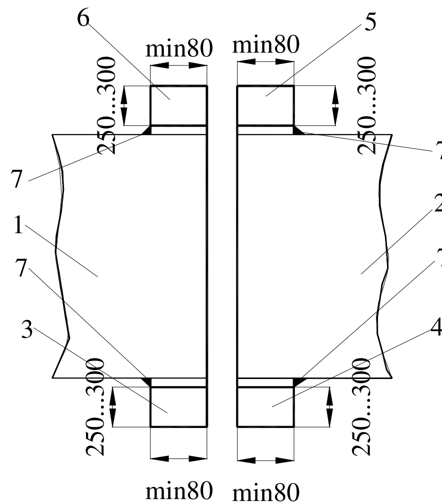


Fig. 6.53. Modul de amplasare a plăcuţelor tehnologice de capăt: 1;2 - piesele de sudat; 3;4;5;6 - plăcuţe tehnologice; 7- suduri de prindere.

2 - *Analiza materialului de adaos* se face pentru a vedea compatibilitatea cu materialul de bază. Materialul de adaos este sub formă de sârmă-electrod, elaborat în colaci. Sârmele folosite la sudare trebuie să aibă o elaborare îngrijită atât în ceea ce priveşte dimensiunile, cât şi compoziţia chimică. Suprafaţa trebuie să fie curată, netedă, fără rugină sau ulei. Sârma-electrod se livrează la diametre cuprinse între 1,0 şi 12,5mm. Conţinutul de sulf şi fosfor trebuie redus la maximum. Suprafaţa exterioară a sârmelor se acoperă cu un strat subţire de cupru, prin galvanizare, asigurându-se un bun contact electric şi rezistenţă la coroziune. La alegerea sârmei-electrod intervin numeroşi factori de care trebuie să se ţină seama. În general se alege un cuplu sârmă-flux ţinând cont de compoziţia chimică a

materialului ce trebuie sudat, condițiile în care se realizează sudura, caracteristicile mecanice la care trebuie să se ajungă în cusătură şi modul de comportare a elementelor din flux în procesele metalurgice. În tabelul 6.12 sunt indicate câteva mărci de sârme cu secțiune plină pentru sudarea sub strat de flux împreună cu fluxul recomandat.

3 - *Analiza materialelor de protecție a arcului şi a băii de sudură* se face în funcție de compoziția chimică a materialului de bază şi a materialului de adaos. Ca materiale de protecție se folosesc *fluxurile*, care sunt materiale sub formă de pulbere sau granule ce se depun în lungul sudurii şi sub care arde şi se menține arcul electric.

Fluxurile îndeplinesc următoarele roluri:

- asigură arderea stabilă a arcului electric printr-o ionizare corespunzătoare;
- protejează baia de sudură şi arcul electric contra acțiunii mediului înconjurător;
- protejează cusătura de o răcire bruscă;
- permite alierea cusăturii sudate cu elementele dorite, precum şi eliminarea unor elemente dăunătoare ca: sulful, fosforul, azotul şi hidrogenul;
- asigură o formă corespunzătoare cusăturii sudate.

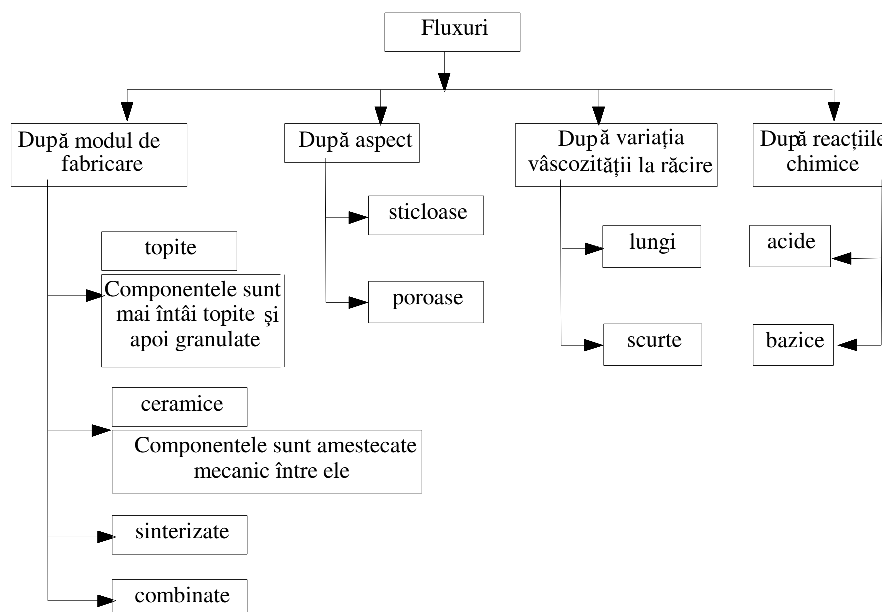


Fig. 6.54. Clasificarea fluxurilor folosite la sudarea sub strat de flux.

Fluxurile utilizate la sudarea sub strat de flux se clasifică după diverse criterii (fig.6.54). Bazicitatea fluxului B, se determină cu relația:

Tabel 6.12. *Câteva mărcii de sârme şi de fluxuri*

Nr. crt.	Marca fluxului	Sârma recomanda-tă în cuplu cu fluxul	Compoziţia chimică a fluxului topit										Caracteristicile mecanice ale metalului depus				Domenii de utilizare
			SiO_2	MnO	CaO	MgO	Al_2O_3	TiO_2	CaF_2	FeO	S	P	R_m [N/mm	$R_{p0,2}$ [N/mm	A_5 [%]	KCV [J/cm^2]	
1	FB-10	S10Mn1Ni1	35-39	8-11	17-21	7-13	16-21	1-2	4-6	1,5	0,07	0,07	470	350	22	31/-20^{0}C	Sudarea oţelurilor carbon şi slab aliate cu granulaţie fină.c$_c^+$; I_s=450-600A; U_a=28-32V; v_s=0,5-0,7mm/min; ∅$_{sârmă}$=4mm
2	FB-20	S10Mn1Ni1	23-26	18-22	11-14	3-5	20-22	3-6	10-14	2,0	0,10	0,10	470	350	22	34/-20^{0}C	
3	FSM-37	S10	41-44	35-39	4-8	2-4	max4	1-2	2-4	2,0	0,15	0,10	430	330	22	31/-0^{0}C	Sudarea oţelurilor carbon şi slab aliate cu conţinut redus de carbon. c$_c^+$,ca; I_s=600-1000A; U_a=35-40V; v_s=0,4-1,6mm/min; ∅$_{sârmă}$=4mm
4	FSM-20	S10	43-46,5	18-22	17-21	6-9	max3	-	5-6,5	1,2	0,10	0,01	430	330	22	31/-0^{0}C	
5	FSM-37B	S10	41-44	35-39	4-8	2-4	max4	1-2	3,5-5,5	2,0	0,15	0,01	430	330	22	31/-0^{0}C	Fluxul FSM37B se poate utiliza şi la sudarera tablelor oxidate.

$$B = \frac{CaO + MgO + MnO}{SiO_2 + FeO + TiO_2} \qquad (6.30)$$

şi se consideră *flux bazic*, dacă B > 1 şi *flux acid*, dacă B < 1.

4 - *Stabilirea parametrilor regimului de sudare* se face în funcție de caracteristicile cusăturii sudate ce urmează a se realiza. Câteva suduri cu dimensiunile caracteristice, ce se recomandă la sudarea sub strat de flux, se prezintă în tabelul 6.13. Parametrii regimului de sudare la sudarea sub strat de flux sunt:

Tabelul 6.13. *Câteva forme şi dimensiuni recomandate la sudarea sub strat de flux*

Nr. crt	Denumirea sudurii	Schița îmbinării sudate	Dimensiunile rostului				
			s[mm]	α [grade]	*b* [mm]	*c* [mm]	*D* [mm]
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Sudură în I	b; s	2-10	-	0-3	-	-
2	Sudură în 2I	b; s	3-50	-	0-11	-	-
3	Sudură în Y	α; s; c; b	8-30	30-50	2-6	2-8	-
4	Sudură în X	α; c; s; b	14-60	50-60	0-4	5-7	-
5	Sudură în K	α; s; b; c; α; s	10-60	50-60	0-2	3-6	-
6	Sudură în L	s; b	>3	-	0-2	-	-

Tabelul 6.13. (*continuare*)

7	Sudură în U		3-40	-	0-1	-	12-30

- diametrul sârmei-electrod d_e;
- intensitatea curentului de sudare I_s;
- viteza de topire a sârmei-electrod v_t;
- viteza de sudare v_s;
- tensiunea arcului U_a;
- natura curentului de sudare.

Pe lângă parametrii regimului de sudare trebuie luaţi în considerare şi *factorii tehnologici*, cu influenţa lor asupra formării cusăturii sudate, care sunt:

- lungimea liberă a capătului sârmei-electrod;
- granulaţia, felul şi înălţimea stratului de flux;
- înclinarea electrodului şi a pieselor de sudat;
- forma rostului;
- alţi factori (variaţia tensiunii reţelei, variaţia vitezei de deplasare a tractorului de sudare etc.).

Regimul de sudare are influenţă directă asupra formei şi dimensiunilor cusăturii sudate. Forma secţiunii cusăturii se caracterizează prin elementele prezentate în figura 6.55, deosebindu-se adâncimea de pătrundere h_p, lăţimea b, îngroşarea h_s, înălţimea cusăturii $h_c = h_p + h_s$, întrepătrunderea straturilor c, coeficientul de formă Ψ_c; coeficientul de îngroşare Ψ_b; secţiunea cusăturii provenite din materialul de adaos A_a, secţiunea cusăturii provenite din materialul de bază A_b, secţiunea cusăturii $A_c = A_a + A_b$ şi coeficientul de participare a materialului de bază la formarea cusăturii Ψ_b.

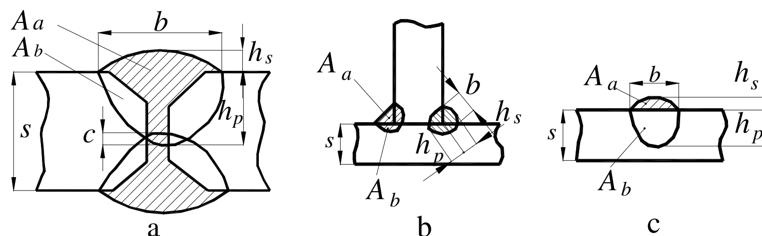


Fig. 6.55. Dimensiunile cusăturilor sudate sub flux:
a – la îmbinarea cap la cap; b – la îmbinarea de colţ; c – la încărcare: b – lăţimea; hp – adâncimea de pătrundere; h_s – îngroşarea; c – întrepătrunderea; A_a – secţiunea cusăturii provenite din materialul de adaos; A_b - secţiunea cusăturii provenite din materialul de bază; *s* – grosimea tablei de sudat.

Elementele ce determină calitățile sudurii pot fi considerate Ψ_i, Ψ_c, Ψ_b care depind de puterea arcului de sudare, modul de repartizare a căldurii între metalul depus şi cel de bază, sârmă şi flux, condițiile de formare a cusăturii.

Pentru a trece la determinarea regimului de sudare se procedează astfel:

- se desenează la scara 1:1 îmbinarea sudată, stabilindu-se mărimile ce caracterizează îmbinarea sudată;
- se ține cont că prin sudarea sub strat de flux se pot suda grosimi de 5…80 mm;
- se ține cont că secțiunea maximă, ce se poate obține dintr-o singură trecere şi un singur arc, nu depăşeşte 100 mm^2;
- se are în vedere că adâncimea de pătrundere dintr-o parte trebuie luată (0,7…0,8)*s*, iar la sudarea din ambele părți adâncimea de pătrundere se ia 0,6*s*.

Se calculează apoi şi se stabilesc parametrii regimului de sudare:

a. *Intensitatea curentului de sudare* I_s se calculează cu relația:

$$I_s = \frac{h_p}{k} \quad [\text{A}] \ , \tag{6.31}$$

în care h_p se determină din desenul la scară, iar *k* este un coeficient care depinde de marca fluxului şi diametrul electrodului (tab. 6.14);

Tabelul 6.14. *Valorile recomandate pentru coeficientul k*

Marca fluxului	Diametrul sârmei electrod d_e[mm]	*k*		
		Curentul		
		Alternativ	Continuu	
			Polaritate directă	Polaritate indirectă
FSM 37	3,25 4 5	1,15 1,05 0,95	0,95 0,85 0,75	1,30 1,15 1,10
FSM–37B	3.25 4 5	1,10 1,00 0,95	0,95 0,90 0,85	1,25 1,10 1,05

b. *Diametrul sârmei–electrod* d_e se stabileşte în funcție de curentul de sudare I_s şi densitatea de curent admisibilă j_a, folosind relația:

$$d_e = 1{,}13\sqrt{\frac{I_s}{j_a}} \quad [\text{m}] \ . \tag{6.32}$$

Diametrele sârmelor sunt obişnuit de 2, 3, 4, 5 şi 6 mm. Diametrul d_e mai poate fi verificat cu formula:

$$I_s = 110 \cdot d_e + 10 \cdot d_e^{\,2} \quad [\text{A}] \ . \tag{6.33}$$

c. *Tensiunea arcului* U_a depinde de mărimea curentului de sudare I_s, diametrul electrodului d_e, masa fluxului şi se poate calcula cu relaţia:

$$U_a = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_e}} \cdot (I_s \pm 1) \text{ [V]} . \quad (6.34)$$

Valoarea tensiunii arcului influenţează lăţimea cordonului de sudură direct proporţional.

d. *Viteza de topire* v_t este dependentă de mărimea curentului de sudare I_s la diametru dat şi se calculează cu relaţia:

$$v_t = \frac{\alpha_t \cdot I_s}{\gamma \cdot A_e} \text{ [g/Ah]} , \quad (6.35)$$

în care α_t este un coeficient de topire, în g/Ah; A_e – secţiunea sârmei electrod, în mm^2.

e. *Viteza de sudare* v_s se determină cu relaţia :

$$v_s = \frac{A_e \cdot v_t}{A_a} \text{ [m/h]} , \quad (6.36)$$

în care A_e este secţiunea sârmei-electrod, în mm^2; A_a – secţiunea metalului cusăturii provenite din materialul de adaos; v_t – viteza de topire.

Viteza de sudare se realizează automat prin stabilirea şi reglarea pe aparat a valorii calculate. În mod obişnuit viteza de sudare v_s=20…60 m/h, pentru că depăşirea peste anumite limite conduce la apariţia de zone cu nepătrunderi.

După ce au fost stabiliţi parametrii regimului de sudare se trece la verificarea condiţiilor de formă şi pătrundere a cordoanelor depuse, determinându-se:

f. *Coeficientul de formă* ψ_c, folosind relaţia:

$$\psi_c = \frac{b}{h_p} , \quad (6.37)$$

în care b este lăţimea cusăturii sudate; h_p – pătrunderea.

Valoarea optimă a acestui coeficient este Ψ_c =0,8…4,0;

g. *Coeficientul de îngroşare* Ψ_i, folosind relaţia:

$$\psi_i = \frac{b}{h_s} \quad (6.38)$$

în care h_s este îngroşarea.Valoarea optimă a lui Ψ_i =7,0…10,0;

h. *Energia liniară* E_l, folosind expresia:

$$E_l = \frac{U_a \cdot I_s}{v_s} \cdot \eta_a \quad [\text{J/cm}] \ , \tag{6.39}$$

în care η_a este randamentul de ardere a arcului electric (η_a=0,85 la sudarea sub strat de flux).

Această energie necesară trebuie să fie de 30 000…40 000 J/cm – la oțelurile carbon, 20 000…30 000 J/cm – la oțelurile slab aliate şi 15 000…20 000 J/cm – pentru oțelurile sensibile la fisurare;

i. *Adâncimea de pătrundere* h_p, folosind relația:

$$h_p = 0{,}0076\sqrt{\frac{E_l}{\psi_c}} \ . \tag{6.40}$$

j. *Coeficientul de depunere* C_d, folosind relația:

$$C_d = \frac{m_d}{I_s \cdot t_s} \quad [\text{g/Ah}] \ , \tag{6.41}$$

în care m_d este masa de metal depusă prin topirea sârmei electrod, în g; t_s – timpul de sudare, în h.

k. *Suprafața secțiunii transversale a cusăturii sudate* A_c, utilizând relația:

$$A_c = \eta_c \cdot \frac{0{,}24 I_s - U_a}{\psi_b \cdot v_s \cdot 500} \quad [\text{mm}^2] \ , \tag{6.42}$$

în care η_c este un coeficient de topire (η_c=0,1…0,3); ψ_b – coeficientul de participare a materialului de bază la formarea cusăturii sudate.

Dacă suprafața calculată diferă de cea de pe desen, cu mai mult de 10%, este necesar a se schimba tensiunea arcului U_a şi viteza de sudare v_s.

Factorii tehnologici au o importanță deosebită la realizarea unui cordon de sudură cu proprietăți mecanice şi caracteristici geometrice corespunzătoare, de aceea se vor face referiri în continuare la influența acestora;

l. *Lungimea liberă a capătului sârmei-electrod L* reprezintă distanța de la bucşa de contact la capătul care se topeşte şi trebuie să fie corelată cu diametrul sârmei electrod (tab.6.15).

Tabelul 6.15. *Corelația dintre diametrul sârmei−electrod şi lungimea la capătul liber*

Diametrul sârmei-electrod [mm]	1,6	2,0	2,5	3,25	4	5	6	7	8
Lungimea capătului liber *L* [mm]	20	20	25	35	45	50	65	85	100

Influența capătului liber al electrodului se manifestă asupra mărimii coeficientului de topire α_t (fig. 6.56);

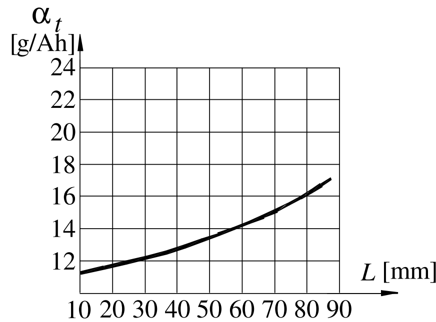


Fig. 6.56. Influenţa lungimii capătului liber *L* al electrodului asupra coeficientului de topire α_t.

m.*Granulaţia şi felul fluxului* influenţează forma cusăturii, acţionând asupra adâncimii de pătrundere. Un flux cu granulaţie fină dă o adâncime de pătrundere h_p mai mare, un consum de energie mai mic şi un consum de flux mai mic, dar îngreunează procesul de degazare. Felul fluxului acţionează asupra stabilităţii arcului;

n. *Înclinarea electrodului şi a pieselor de sudat* influenţează asupra formei secţiunii cusăturii (fig. 6.57). La sudarea cu electrod înclinat înainte, metalul topit este suflat înainte de sudare şi descreşte adâncimea de pătrundere (fig. 6.57. a). La sudarea cu electrod înclinat înapoi (fig. 6.57. c), arcul electric topeşte mai adânc şi adâncimea de pătrundere creşte;

o. *Înclinarea piesei* influenţează asupra cusăturii în două moduri, astfel:

- *la sudarea de jos în sus* (fig. 6.58. a), când sub influenţa forţelor gravitaţionale metalul topit se scurge de sub arcul electric, favorizând o bună pătrundere şi o supraînălţare mare, dar şi posibilitatea apariţiei de fisuri la cald;

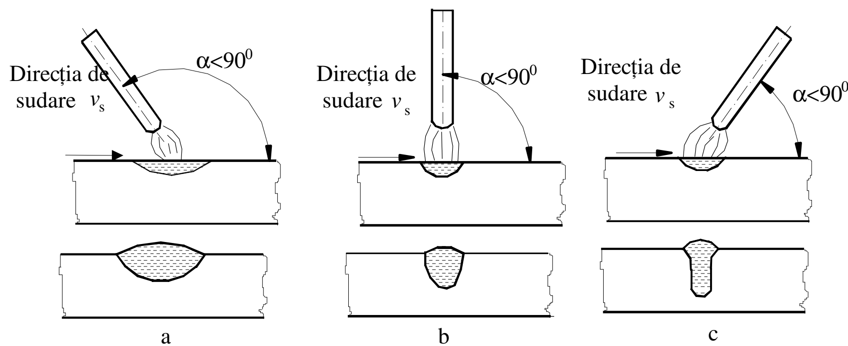


Fig. 6.57. Influenţa înclinării α a electrodului asupra secţiunii cusăturii: a - α>90°; b - α=90°; c- α<90°.

- *la sudarea de sus în jos* (fig. 6.58. b), când metalul lichid se scurge sub arcul electric, reducând pătrunderea şi scăzând supraînălţarea.

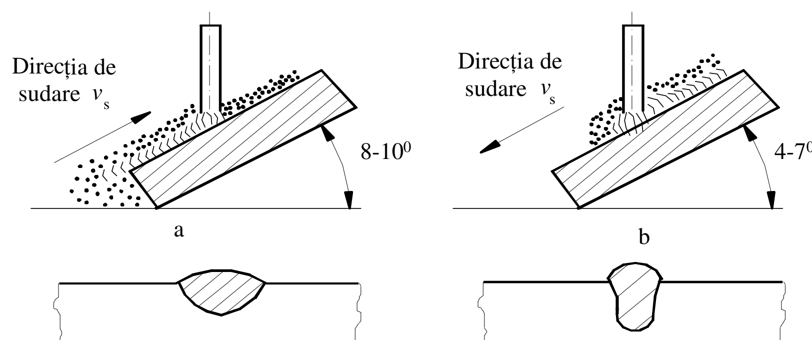


Fig. 6.58. Influența înclinării piesei asupra formei cusăturii:
a – la sudarea de jos în sus; b – la sudarea de sus în jos.

p. *Forma rostului* influențează asupra procesului de participare al metalului de bază şi de adaos la formarea cusăturii sudate. Dacă rosturile nu sunt prelucrate (de exemplu, la sudarea cap la cap) cantitatea de metal depus din electrod este mai mică decât în cazul existenței unui rost;

r. *Alți factori* (variația tensiunii rețelei, variația vitezei de deplasare a tractorului de sudare etc.) influențează forma cusăturii sudate.

5 - *Pregătirea piesei în vederea sudării* constă în realizarea rostului îmbinării, operație care se face în funcție de forma îmbinării, grosimea pieselor de sudat şi modul de susținere a băii de sudură (tab. 6.16.).

Tabelul 6.16. *Câteva tipuri de îmbinări pentru sudarea sub strat de flux*

Forma îmbinării	Simbol	Suport	Grosime metal, *s* [mm]	Coeficient de calitatea sudurii	Dimensiuni, [mm]	Observații
1	2	3	4	5	6	7
		Garnitură din cupru	1,5-5	<0,8	-	-
		Idem	4-10	<0,8	*c* = 1-5	-
		Garnitură din tablă din oțel cu *g*=(0,3-0,5)*s* *L*=(4-5)*s*	2-16	0,8-0,9	*c* = 0-6	Îmbinări transversale la recipienți. Garnitura rămâne sudată.
		Sudură manuală	8-15	0,8-0,95	*c* = 3-5	Când nu se pot folosi garnituri la îmbinări transversale.

Tabelul 6.16. (*continuare*)

0	1	2	3	4	5	6
c		Pernă de flux	4-16	0,8	*c* = 1-3	Sudură pe una din părţi. Ajustare neprecisă.
c		Idem	8-20	0,8-0,95	*c* = 3-6	Sudură bilaterală. Ajustare neprecisă.
α, e, s, d, c		Idem	10-20	0,8-0,95	*c* = 0-1 *d* = 5-7 *e* = 5-12 α = 80°-60°	Sudură de calitate.
α, d, e, s, c, 80°		Idem	10-30	0,7-0,95	*c* = 0-2 *d* = 3-4 *e* = 4-8 *f* = 3-18 α = 80°-30°	Idem
c		-	>5	În funcţie de grosimea sudurii	$c \leq 1$	Poziţie în jgeab. Pătrundere adâncă. Pătrunderea poate fi considerată s în
c		-	>3	Idem	$c \leq 2$	
c		-	>3	Idem	$c \leq 1{,}5$	

Susţinerea băii de metal topit are drept scop oprirea scurgerii metalului topit şi realizarea unei rădăcini corecte. Pentru acestea există câteva metode de susţinere a băii de metal topit:

• *sprijinirea pe suport nefuzibil* (fig. 6.59. a), când se utilizează o riglă suport din cupru, pentru cusături rectilinii de lungimi până la 3 metri şi grosimi de 8…10mm. Rigla suport poate fi simplă sau cu crestături (fig. 6.59. c);

• *sprijinirea pe suport fuzibil* (fig.6.60) constă în folosirea unei platbande din oţel cu aceeaşi compoziţie ca şi metalul de bază, suportul neîndepărtâdu-se după aceea. Metoda se utilizează mai ales pentru suduri circulare, unde nu este posibil accesul din interior (ţevi, conducte, recipienţi cu diametre mici, magistrale

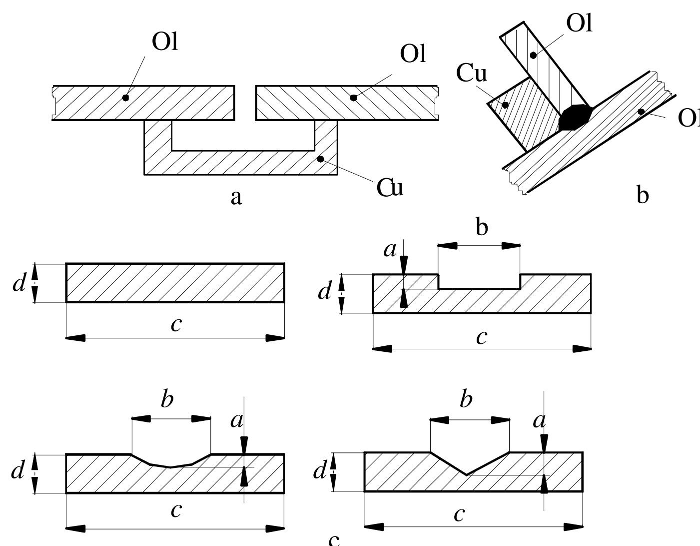


Fig. 6.59. Sprijinirea sudurii pe suport nefuzibil:
a – la sudarea cap la cap; b – la sudarea de colț; c – diferite tipuri de riglete suport.

etc). Dimensiunile riglei suport *a*, *b*, *c* şi *d* se aleg în funcție de grosimea pieselor de sudat;

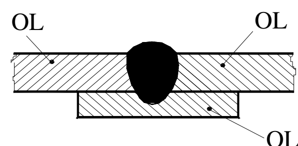


Fig. 6.60. Sprijinirea sudurii pe suport fuzibil.

• *sprijinirea pe pernă de flux* (fig. 6.61) constă în presarea unui strat de flux cu grosimea de 20…30 mm pentru tablele subțiri şi de 40…100 mm pentru tablele groase. Fluxul este apăsat în deschiderea rostului, fie mecanic (fig.6.61. a), fie folosind un furtun cu aer comprimat (fig. 6.61. b). Fluxul 1 este depus într-un jgheab din pânză rezistentă 2, iar între acesta şi furtunul de presare 3 se pune o platbandă 4, toate aflate între suporturile laterale 5.

6. *Alegerea utilajului pentru sudare* se face în funcție de natura şi grosimea materialelor de bază şi de adaos, de configurația geometrică a cusăturii sudate, de productivitate şi mai ales de modul cum se face avansul sârmei-electrod. Constructiv, aparatele de sudat sub flux sunt fie *fixe*, la care pentru realizarea sudurii este necesar ca piesa să execute o mişcare de deplasare față de capul de sudare (folosind dispozitive specifice), fie *mobile*, la care aparatul se deplasează utilizând şine de rulare sau *tractoare de sudare*, care se pot deplasa direct pe piesă.

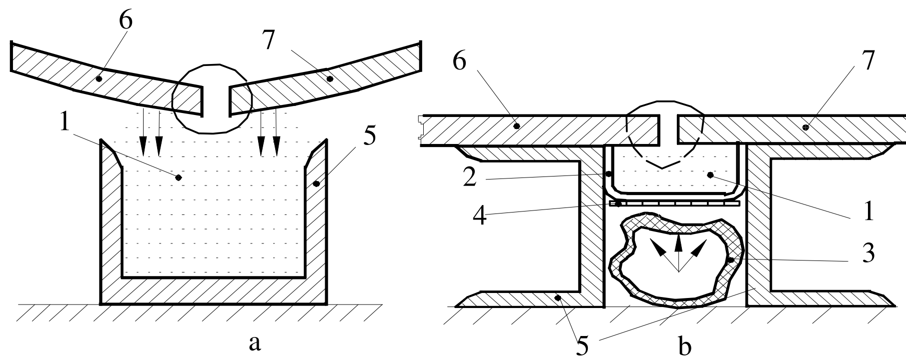


Fig. 6.61. Sprijinirea sudurii pe pernă de flux:
a – folosind un sistem mecanic; b – folosind un sistem cu furtun cu aer comprimat: 1 – flux; 2 – jgheab de pânză; 3 – furtun cu aer comprimat; 4 – platbandă; 5 – suporți laterali; 6, 7 – metalul de bază.

7. *Execuția propriu-zisă a cusăturii sudate* se face după ce piesele de sudat au fost poziționate şi fixate corespunzător cu rostul îmbinării. Se ține cont de asemenea de dimensiunile de gabarit ale îmbinării sudate, de tipul aparatelor de sudare folosite şi de tipul îmbinării. Piesele de grosimi până la 8 mm se sudează numai dintr-o parte şi fără rost între piese. Pentru grosimi mai mari, în cazul sudării pe ambele părți, se recomandă folosirea cusăturilor în „I" până la 16…18 mm, cusăturile „Y" până la 22 mm, iar peste 22 mm, cusăturile în „X". La sudarea pe ambele părți trebuie acordată atenție întrepătrunderii cusăturii de pe o parte, cu cusătura de pe cealaltă parte (fig.6.62), întrepătrunderea optimă fiind de 3…5 mm în funcție de grosime. Sudarea cap la cap se recomandă când îmbinarea trebuie să asigure condiții de rezistență competitive cu cele ale metalului de bază. În funcție de grosime, sudarea se poate executa şi în straturi multiple, dar trebuie avut în vedere să nu se modifice regimul de sudare între straturi. Este necesară folosirea dispozitivelor de susținere a băii de metal topit, deoarece asigură o rădăcină uniformă şi evitarea străpungerilor.

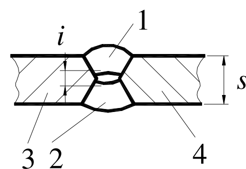


Fig. 6.62. Întrepătrunderea cusăturilor:
1; 2 – cusături sudate; 3; 4 – metale de bază;
i – întrepătrunderea; *s* – grosimea tablelor de sudare.

La executarea *cusăturilor de colț*, electrodul poate fi *înclinat* (6. 63. a), cu dezavantajul apariției defectului de crestătură (fig. 6.63. b), sau *vertical*, sudarea executându-se în *jgheab* (fig. 6.63. c), iar susținerea băii de sudură făcându-se cu riglă suport de cupru (fig. 6.63. c) sau de oțel (fig. 6.63. d).

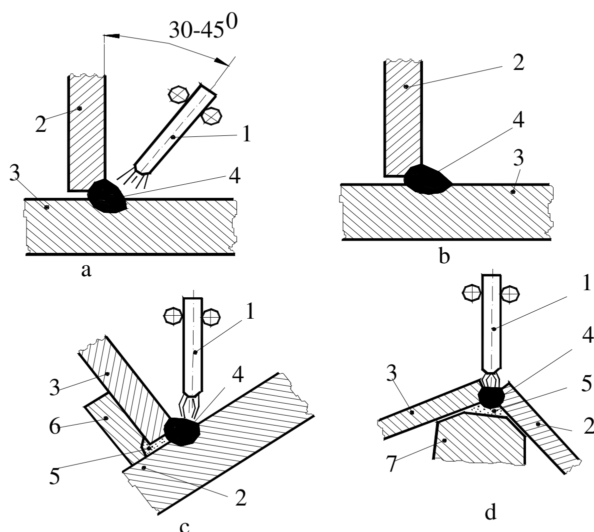


Fig. 6.63. Poziționarea capului de sudare pentru îmbinările de colț:
a – înclinat; b – defect de cusătură; c, d – vertical; 1 – sârma-electrod; 2, 3 – metale de bază;
4 – cordon de sudură; 5 – flux; 6 –garnitură de cupru; 7 – garnitură de oțel.

La execuția sudurii în straturi multiple (fig.6.64) se preferă execuția simultană a cordonului de sudură pe ambele părți, pentru a compensa deformațiile.

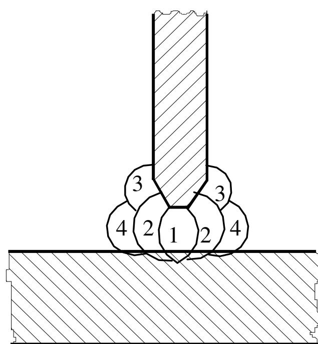


Fig. 6.64. Execuția simultană a straturilor de sudură la o sudură de colț în straturi multiple:
1, 2, 3, 4 – straturi de sudură.

La sudarea cusăturilor circulare în plan vertical (foarte des întâlnită la realizarea de recipienți, țevi, schimbătoare de căldură, rezervoare etc.) se recomandă sudarea pe ambele părți (fig. 6.65) cu pregătirea rostului în ,,X'' deoarece tablele au grosimi relativ mari.

8 - *Curățirea cusăturii sudate* constă în îndepărtarea fluxului care nu a reacționat cu baia de sudură şi recuperarea lui în vederea folosirii în continuare şi în îndepărtarea stratului de zgură format prin solidificarea fluxului topit.

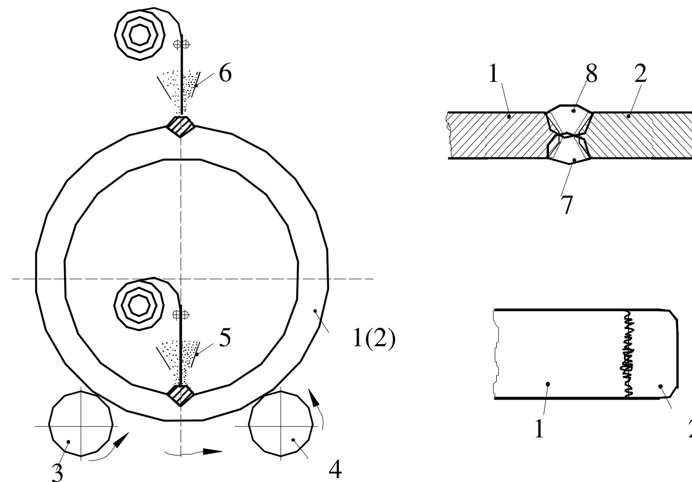


Fig. 6.65. Schema executării unei cusături circulare:
1; 2 – metale de bază (virolă şi respectiv capac); 3; 4 – role de antrenare; 5 – cap de sudat interior; 6 – cap de sudat exterior; 7; 8 – cusătură sudată interioară şi respectiv exterioară.

Curăţirea se face iniţial mecanic, prin ciocănirea cu ciocanul de sudură, pentru ca apoi să se facă cu perii de sârmă, jet de alice sau jet de aer comprimat.

9 - *Controlul cusăturilor sudate* are drept scop determinarea eventualelor defecte care au apărut în îmbinarea sudată în urma procesului de sudare. Principalele defecte ce pot apărea sunt: abaterile de la continuitate, formă, dimensiuni, structură şi compoziţie chimică prescrisă; crăpăturile şi fisurile longitudinale, transversale şi radiale; porii şi suflurile; incluziunile metalice şi nemetalice; lipsa de pătrundere; lipsa de topire; supraîncălzirea, arderea, dezaxarea cusăturilor executate pe ambele părţi; defecte de crestătură şi altele.

Pentru punerea în evidenţă a defectelor cusăturilor sudate se folosesc metode de control nedistructiv stabilite în funcţie de tipul îmbinării, importanţa îmbinării sudate şi productivităţii. Se utilizează controlul: cu radiaţii penetrante, cu ultrasunete, cu lichide penetrante, cu pulberi magnetice, cu curenţi turbionari, prin analiza termografică, cu emisie acustică şi altele.

10 - *Stabilirea tratamentelor termice* urmăreşte obţinerea de structuri corespunzătoare unor anumite asociaţii de proprietăţi cerute în exploatare, precum şi reducerea tensiunilor remanente. Principalele tratamente termice aplicate îmbinării sudate sunt: *recoacerea de detensionare, revenirea, normalizarea şi îmbătrânirea*.

6.7.5.4. Variante ale sudării cu arc electric sub strat de flux

În vederea realizării anumitor construcţii sudate, pentru creşterea productivităţii, pentru creşterea grosimii pieselor de sudat sau pentru cusături

sudate cu anumite forme şi caracteristici, s-au dezvoltat procedee speciale de sudare cu arc electric sub strat de flux. Mai largă utilizare o au următoarele procedee speciale de sudare sub strat de flux:

• *Sudarea automată cu mai multe arce* (fig.6.66) este folosită pentru creşterea productivității, la tablele de grosimi mari şi pentru obținerea de cusături

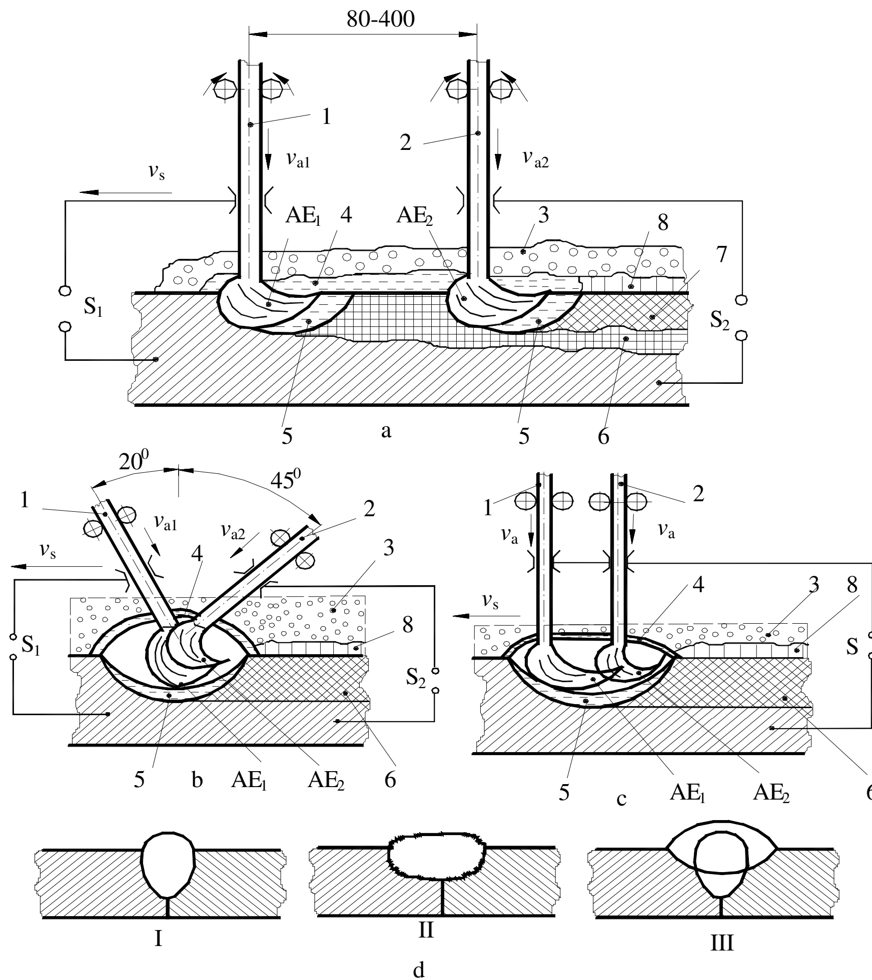


Fig. 6.66. Schema de principiu la sudarea sub flux cu mai multe arce:
a – cu arce independente şi în cavități separate; b - cu arce independente şi în aceeaşi cavitate; c – cu arce gemene; d – efectul arcelor electrice: 1; 2 – sârme electrod; 4 – peliculă de flux topit; 5 - baia de sudură; 6; 7 – cusături sudate; 8 – strat de zgură; S_1;S_2 – surse de curent; AE_1,AE_2 – arce electrice; v_a,v_s – viteza de avans respectiv viteza de sudare; I – efectul primului arc (AE_1); II – efectul celui de-al doilea arc (AE_2); III – efectul ambelor arce.

sudate de lățimi mari. În funcție de poziția arcelor electrice se deosebesc procedeele: *cu arce independente în cavități separate* (fig. 6.66. a), *cu arce independente în aceeaşi cavitate* (fig. 6.66. b), *cu arce gemene* (fig. 6.66. c). De regulă primul arc încălzeşte metalul de bază şi realizează pătrunderea (trebuie să aibă o intensitate mai mare), iar cel de-al doilea completează şi dă forma definitivă a cusăturii (trebuie să aibă o tensiune mai mare). Sursele de alimentare pot fi instalațiile obişnuite de sudare sub flux sau speciale. Rezultate bune se obțin alimentând primul arc electric în curent continuu, iar al doilea, în curent alternativ. Viteza de sudare poate ajunge până la 200m/h, deci productivitate foarte mare;

• *Sudarea automată cu electrod lamelar* (fig.6.67) are avantajul unor electrozi mai uşor de confecționat şi mai ieftini, în condițiile unei productivități mari. Electrodul-bandă 1, elaborat la grosimea de 0,5…1,6 mm şi 20…100 mm lățime se desfăşoară de pe tamburul 2, fiind antrenat de rolele de antrenare 3 şi 4, ce primesc mişcarea de la motorul electric 5, prin intermediul cuplajelor 6 şi 7 şi a reductorului 8. Se obține cusătura sudată 9 cu o suprafața netedă şi cu deformații minime. Calitatea sudurii depinde de materialul şi dimensiunile benzii, calitatea fluxului, înălțimea stratului de flux, polaritatea şi valoarea curentului de sudare, tensiunea arcului şi viteza de sudare. Procedeul se aplică mai ales ca procedeu de încărcare prin sudare, în scopul obținerii unor piese placate cu straturi superficiale cu proprietăți speciale (pe oțel carbon obişnuit ca suport se depune un strat de oțel inoxidabil) sau în scopul recondiționării suprafețelor uzate;

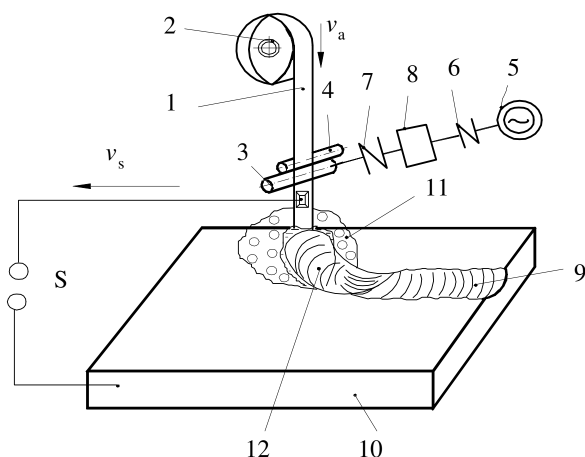


Fig. 6.67. Schema de principiu la sudarea automată cu electrod bandă: 1 – electrod-bandă; 2 – tambur; 3,4 – role de antrenare; 5 – motor electric; 6,7 – cuplaje; 8 – reductor; 9 – cusătura sudată; 10 – metal de bază; 11 – flux; v_a – viteza de avans; v_s – viteza de sudare; S – sursa de curent.

• *Sudarea semiautomată în puncte topite (electro–nituirea)* se aplică la îmbinarea tablelor subțiri şi se bazează pe amorsarea unui arc acoperit sub strat de flux, electrodul fiind fix (fig. 6.68. b). Când electrodul se consumă, creşte distanța față de piesa şi arcul se stinge (fig. 6.68. c) de la sine.

Procedeul se aplică în mai multe variante cu table suprapuse (fig. 6.69.a), în găuri (fig. 6.69. b) şi cu rondele la partea superioară (fig. 6.69. c).

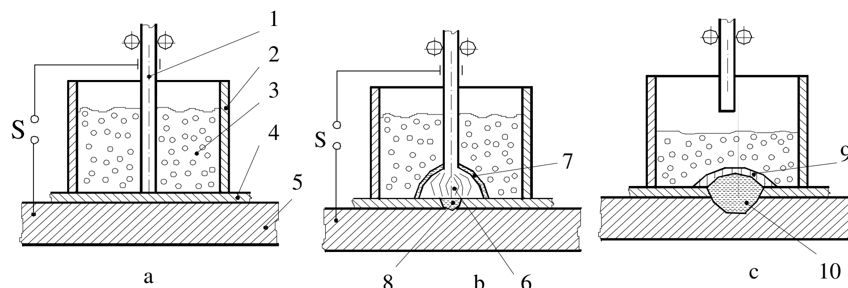


Fig. 6.68. Schema de principiu la electro–nituire:
a – sârma electrod în contact cu piesa; b – arderea arcului şi topirea materialului; c – întreruperea arcului şi formarea nitului de sudură: 1 –sârma – electrod; 2 – buncăr; 3 – flux; 4,5 – metalele de bază; 6 - arcul electric; 7 – pelicula de flux topit; 8 – baia de sudură; 9 – stratul de zgură; 10 – nit de sudură.

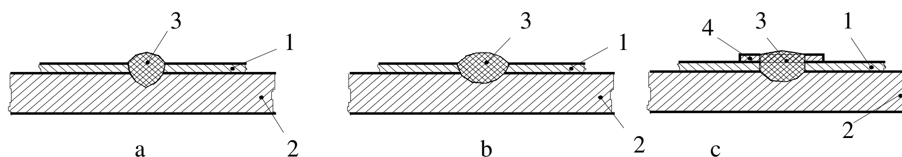


Fig. 6.69. Variante ale electronituirii:
a – cu table suprapuse; b – cu tabla superioară găurită; c – cu rondelă la partea superioară: 1,2 – metale de bază; 3 – nit de sudură; 4 – rondelă.

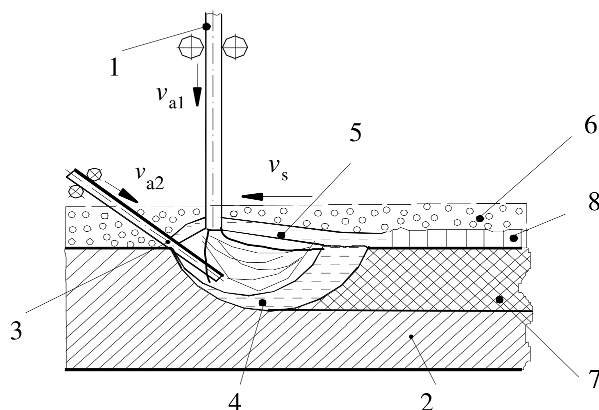


Fig. 6.70. Sudarea sub strat de flux cu sârmă caldă:
1 – electrod–bandă; 2 – metal de bază; 3 – sârmă caldă; 4 – baia de sudură;5 – peliculă de flux topit; 6 – flux; 7 – cusătură sudată; 8 – flux.

• *Sudarea automată sub flux cu sârmă caldă* foloseşte o sârmă caldă introdusă în fața arcului electric (fig. 6.70), deoarece în spatele acestuia zgura, în

curs de solidificare, împiedică acest lucru. Cele două sârme-electrod au viteze de avans care se pot regla independent, în raport cu cerinţele procedeului de sudare. Vitezele de depunere sunt cu 50…100% mai mari prin sporirea cantităţii de căldură introdusă în unitatea de timp. Procedeul se aplică la sudarea tablelor groase, peste 25 mm, şi la suduri de colţ fără teşirea muchiilor, având o mare productivitate.

Pe lângă procedeele de sudare sub strat de flux prezentate mai sus au fost realizate şi alte procedee, având destinaţii speciale în funcţie de configuraţia pieselor şi de caracterul producţiei, astfel: pentru sudarea grinzilor şi a altor ansamble care au una sau mai multe cusături paralele şi pe lungime mare; pentru sudarea rezervoarelor cilindrice şi sferice, recipienţilor şi a altor ansamble care au cusături circulare şi liniare, pentru sudarea elicoidală a ţevilor cu diametre mai mari de 400mm; pentru încărcarea şi durificarea unor piese uzate etc.

6.7.6. Sudarea în mediu de gaze protectoare

6.7.6.1. Generalităţi. Scheme de principiu

La sudarea cu electrozi neînveliţi sau cu înveliş subţire, baia de sudură nu este protejată de acţiunea mediului înconjurător, şi elemente ca hidrogenul şi azotul pătrund în metalul topit determinând proprietăţi necorespunzătoare pentru cusătura sudată. Protecţia băii de sudură se poate realiza pe următoarele căi: mărirea grosimii învelişului, folosirea unui strat de flux, folosirea la sudare a unor gaze protectoare.

Procedeele de sudare folosind gaze protectoare se clasifică după schema din figura 6.71. Gazele inerte protejează baia de metal topit, nu intră în combinaţii chimice cu alte elemente şi nu rămân în cusătura sudată. Gazele active se dizolvă şi formează cu metalul lichid compuşi chimici, ele influenţând procesele metalurgice din spaţiul arcului.

Gazele protectoare se recomandă a fi utilizate în felul următor:

- hidrogenul – pentru sudarea aproape a tuturor metalelor şi aliajelor;
- argonul şi heliul – pentru sudarea aluminiului, magneziului, titanului şi a aliajelor acestora;
- azotul – pentru sudarea cuprului şi nichelului;
- dioxidul de carbon – pentru sudarea oţelurilor carbon şi slab aliate, a metalelor şi aliajelor cu afinitate slabă pentru oxigen.

Schema de principiu a procedeului de sudare în mediu de gaze protectoare se diferenţiază conform clasificării din figura 6.71, deosebindu-se:

• *Sudarea arc-atom (cu hidrogen atomic)*, unde arcul electric 1 se formează între doi electrozi de wolfram 2 şi 3 (fig. 6.72), legaţi în secundarul unui transformator de sudare. Peste electrozi se suflă un curent de hidrogen 4 şi 5 prin ajutajele 6 şi 7. Sub acţiunea termică a arcului electric o parte din hidrogenul molecular (peste 70%) se disociază, în zona A, în hidrogen atomic, cu absorbţie de căldură, după reacţia:

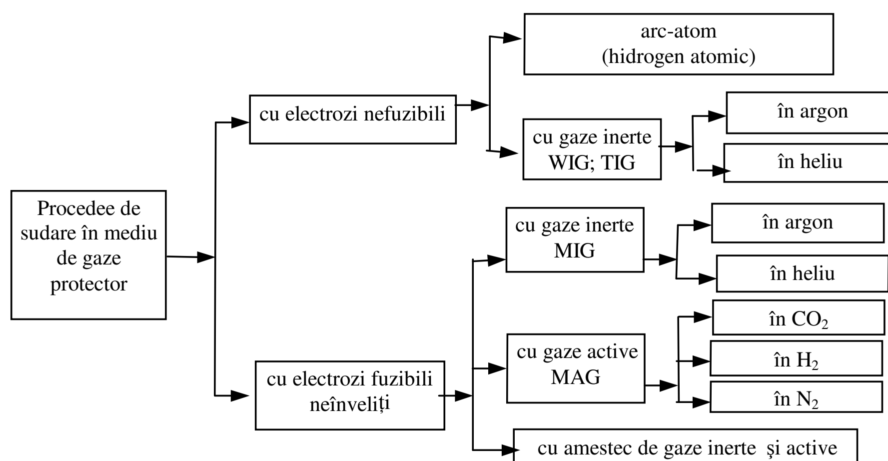


Fig. 6.71. Clasificarea procedeelor de sudare în mediu de gaze protectoare.

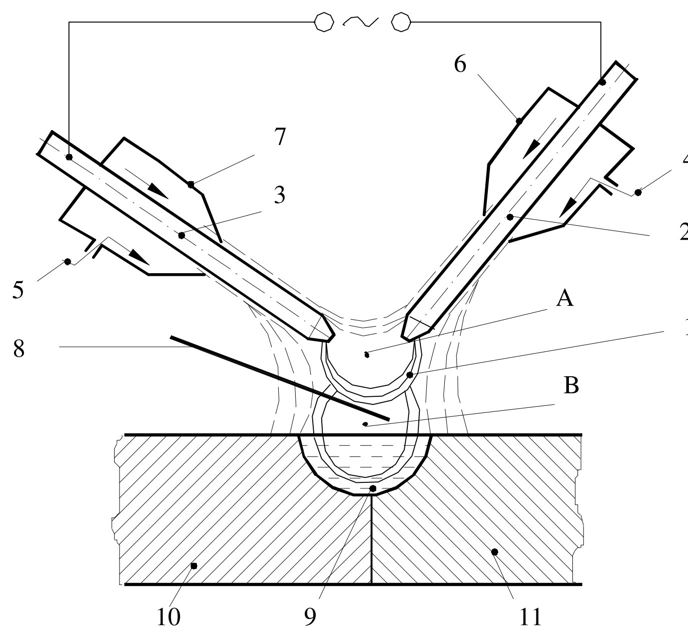
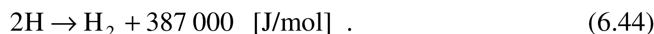


Fig. 6.72. Schema de principiu la sudarea arc – atom (în hidrogen atomic):
1 – arc electric; 2 ; 3 – electrozi nefuzibili; 4 ; 5 – curenți de hidrogen; 6 ; 7 – ajutaje; 8 – material de adaos; 9 – baia de sudură; 10 ; 11 – materiale de bază; A – zona de disociere; B – zona de recombinare.



$$H_2 \rightarrow H + H - 421000 \quad [\text{J/mol}] \ . \tag{6.43}$$

Deoarece în stare atomică hidrogenul este foarte instabil, în zona B se recombină cu cedare de căldură, după reacţia:



$$2H \rightarrow H_2 + 387\,000 \quad [J/mol] \ . \tag{6.44}$$

Temperatura ajunge în această zonă până la 4 000°C, suficientă pentru a topi metalul de adaos şi cel de bază. În această zonă se introduce materialul de adaos sub formă de vergea 8. Prin solidificarea băii de sudură se formează cusătura sudată între materialele de sudat 10 şi 11.

Electrozii sunt din wolfram sau wolfram thoriat şi au diametrul d = =1…6mm în funcţie de grosimea pieselor de sudat. Curentul de sudare $I_s = 2d_e$, în A, în care d_e este diametrul electrodului de wolfram, iar consumul de gaz Q_g = = 800+15I_s, exprimat în l/h, în funcţie de natura materialului de sudat. Materialul de adaos are compoziţia chimică a materialului de sudat sau apropiată de acesta, diametrul său d, calculându-se cu relaţia:

$$d = \frac{s}{3} + 1 \quad [mm] \ . \tag{6.45}$$

Procedeul se aplică aproape tuturor metalelor şi aliajelor utilizate în tehnică. Se sudează oţeluri carbon cu până la 1,5%C şi 0,5…10mm grosime sau bare cu diametrul până la 80mm, oţeluri aliate cu crom şi nichel, inoxidabile, refractare, rapide, metalele neferoase şi aliajele lor, cu excepţia cuprului şi aliajelor lui, datorită solubilităţii mari a hidrogenului în acestea.

Procedeul se mai aplică la confecţionarea şi repararea sculelor aşchietoare din oţel rapid (cuţite de strung, freze, cuţite de rabotat şi mortezat) şi la separarea prin sudare a pieselor rupte sau uzate (roţi dinţate, arbori cotiţi, instrumente medicale, lanţuri calibrate, arcuri de automobile, ştanţe şi matriţe etc.)

• *Sudarea prin procedeul WIG (Wolfram Inert Gaz)*, la care arcul electric 1 (fig.6.73) arde între electrodul de wolfram thoriat 2 şi metalul de bază 3, legaţi la sursa de curent. În jurul electrodului se insuflă un curent de gaz inert 4 prin ajutajul 5, ce va forma o perdea de protecţie 6, asupra arcului electric, contra acţiunii mediului înconjurător. Arcul electric încălzeşte o parte din metalul de bază, care împreună cu materialul de adaos topit formează baia de sudură 8, după solidificare rezultând cusătura sudată 9. Pentru stabilitatea arcului electric este necesară o tensiune mai mare, având în vedere potenţialul de ionizare mai ridicat al gazului protector decât al aerului (la argon -15V, la heliu - 24V);

Procedeul se caracterizează printr-o protecţie bună a arcului electric şi a băii de sudură contra acţiunii aerului atmosferic, evitarea folosirii unor electrozi speciali, fluxuri speciale, curăţirea de zgură a cusăturii şi lipsa incluziunilor de zgură. De asemenea, se obţin cusături sudate cu proprietăţi mecanice şi rezistenţă la coroziune foarte bune.

Se poate folosi polaritatea directă (electrodul la polul negativ) obţinându-se o lăţime mică a băii de sudură şi o pătrundere mare sau, polaritate inversă, când

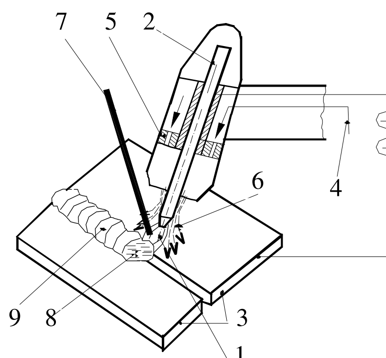


Fig. 6.73. Schema de principiu la sudarea prin procedeul WIG:
1 – arcul electric; 2 – electrodul nefuzibil de wolfram; 3 – metalele de bază; 4 – curentul de gaz inert;
5 – ajutaj; 6 – perdea de gaz protector; 7 – metalul de adaos; 8 – baia de sudură;
9 – cusătura sudată.

baia de sudură se lățește, iar pătrunderea este mai mică. În curent alternativ atât lățimea, cât şi adâncimea băii de sudură sunt moderate ca dimensiuni.

Procedeul se aplică la sudarea oțelurilor inoxidabile cu crom, nichel şi molibden, a cuprului, nichelului, a aluminiului şi aliajelor acestora;

• *Sudarea prin procedeul MIG* (*Metal Inert Gaz*) la care arcul electric 1 (fig.6.74) arde între materialul de adaos, care este sub formă de sârmă-electrod 2, neînvelit, cu diametrul de 0,6…2,0 mm antrenat mecanizat cu viteza v_a, de către rolele 3 şi materialul de bază 4, legați la sursa de curent continuu sau curent alternativ. Prin ajutajele 5 se insuflă un curent de gaz inert 6, care formează o perdea de protecție 7 pentru arcul electric, contra acțiunii mediului înconjurător.

Picăturile de material de adaos 8, împreună cu o parte din materialul de bază formează baia de sudură 9, protejată şi ea de perdeaua de gaz inert, care după solidificare formează cusătura sudată 10.

După modul cum se realizează transferul de metal prin coloana arcului se disting următoarele variante:

- *cu transfer globular,* la care topirea se face în picături sensibil mai mari ca diametrul sârmei-electrod, dar mai mici ca lungimea arcului electric, ce se desprind cu frecvență mică sub influența greutății proprii. Se întâlneşte la sudarea cu densități mici de curent a tablelor de dimensiuni mijlocii;

- *cu transfer prin pulverizare,* caracterizat prin picături mai mici ca diametrul sârmei şi ca lungimea arcului electric, ce se desprind la frecvență ridicată. Este caracteristic lucrului cu densități mari de curent (peste 200A/mm^2) şi productivitatea este ridicată (se aplică la sudarea tablelor de grosimi mari);

- *cu transfer turbionar,* când sârma-electrod are o lungime mare în afara duzei de contact şi se încălzeşte mult datorită arcului electric şi a efectului Joule. În acest caz picăturile se desprind tangențial la sârmă şi cu viteză mare.

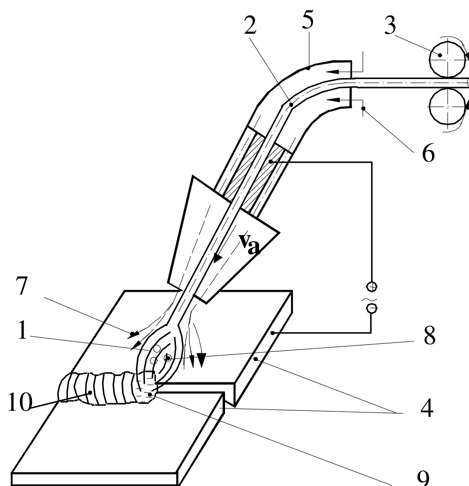


Fig. 6.74. Schema de principiu la sudarea prin procedeu MIG: 1 – arcul electric; 2 – sârma-electrod; 3 – rolele de antrenare; 4 – metalele de bază; 5 – ajutaj; 6 – curentul de gaz inert; 7 – perdea de protecție; 8 – picăturile de metal de adaos; 9 – baia de sudură; 10 – cusătura sudată.

- *cu transfer prin proiecție,* când picăturile sunt mai mici decât diametrul sârmei-electrod şi decât lungimea arcului şi sunt proiectate cu viteză mare spre baia de sudură, datorită forțelor electromagnetice.La acest procedeu este recomandată polaritatea inversă. Se pot suda piese cu grosimi până la 6mm (dintr-o parte) sau până la 15mm (din ambele părți), confecționate din oțeluri carbon şi slab aliat, oțeluri inoxidabile, cupru şi aliajele sale, aluminiu şi aliajele sale etc.

• *Sudarea prin procedeul MAG (Metal Activ Gaz),* la care arcul electric 1 (fig.6.75) se formează între sârma electrod 2, antrenată de rolele 3, şi metalul de bază 4 legați la sursa de curent. Arcul electric este protejat de o perdea de protecție 5, formată prin insuflarea unui curent de gaz activ 6 prin ajutajul 7. Schema de principiu este asemănătoare ca la procedeul MIG, cu deosebirea că în locul gazului inert se insuflă CO_2. Dioxidul de carbon disociază după reacția (6.46), gradul de disociere depinzând de temperatură (începe la 1 600K şi ajunge 100% la 5 000K). Oxidul de carbon şi oxigenul pot intra în reacții cu elementele componente ale metalului lichid, compuşii rezultați putând ieşi în atmosferă (CO, vapori de apă), trece în zgură (SiO_2, MnO, FeO) sau condensa (H_2O). Pentru compensarea efectelor produse de reacțiile de oxidare se folosesc ca materiale de adaos sârme bogate în elemente avide de oxigen (cu 0,8…1,0%Si; 1,2…1,5Mn), iar uneori se introduc şi cantități mici de dezoxidanți mai puternici (Al, Ti, Zr)



$$CO_2 \leftrightarrow CO + O \ . \qquad (6.46)$$

După modul cum se realizează transferul de metal prin coloana arcului la sudarea în gaze active se disting următoarele variante:

- *cu arc scurt,* la care diametrul picăturii este mai mare decât lungimea arcului, tensiunea este mai mică şi transferul metalului lichid se face prin

scurtcircuitare, când curentul creşte brusc, şi realizează fenomenul de ştrangulare şi separare a picăturii, care cade în baia de sudură. Se aplică la sudarea tablelor subțiri şi permite controlul energiei termice introdusă în procesul de sudare;

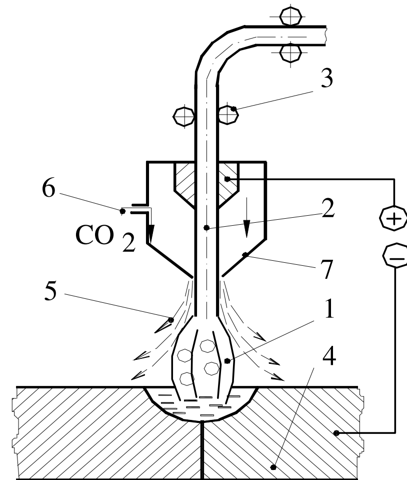


Fig. 6.75. Schema de principiu la sudarea prin procedeu MAG:
1 – arcul electric; 2 – sârma-electrod; 3 – rolele antrenare; 4 – metalul de bază; 5 – perdea de gaz protector; 6 – curentul de gaz activ; 7 – ajutaje.

- *cu transfer fin,* la care diametrul picăturilor este mai mic decât lungimea arcului şi nu mai realizează scurtcircuitarea (densitatea de curent este bună, stabilitatea arcului este bună şi desprinderea picăturilor se face rapid datorită curentului mare de sudare). Se aplică la sudarea tablelor groase;

- *cu transfer modulat,* la care picăturile de material de adaos ajung în baia de sudură prin alternarea celor două moduri de transfer (cu arc scurt – cu transfer fin) în timpul pendulării arcului electric. Procedeul prezintă următoarele avantaje: putere ridicată de topire ca urmare a densității mari de curent folosite (200…230A/mm^2) şi cantitate mare de metal depus (3…4 kg/h); productivitate mare prin reducerea timpilor auxiliari pentru curățirea zgurei; deformații reduse după sudare datorită vitezelor de sudare mari; eficiență ridicată. Procedeul se aplică la sudarea pieselor confecționate din oțeluri carbon şi slab aliate, metale şi aliaje cu afinitate scăzută față de oxigen, cupru şi aliajele sale, nichel şi aliajele sale.

6.7.6.2. Utilajele folosite la sudarea în mediu de gaze protectoare

Instalațiile folosite se clasifică după mai multe criterii:

- după natura curentului folosit la sudare, se deosebesc:
  - instalații pentru sudare folosind curentul continuu;
  - instalații pentru sudare folosind curentul alternativ;
- după tipul procedeului de sudare, se deosebesc:
  - instalații pentru sudare în mediu de gaz inert cu electrod de wolfram (WIG; TIG);

- instalații pentru sudare în mediu de gaz inert cu electrod fuzibil (MIG);
- instalații pentru sudarea în mediul de gaz activ cu electrod fuzibil (MAG);

Schema de principiu a unei instalații pentru sudarea arc-atom (în hidrogen atomic) se prezintă în figura 6.76. Instalația se compune dintr-un transformator pentru sudare 1, alimentat de la rețeaua 2, care alimentează port–electrodul 3, racordat prin furtunul 4, la butelia de hidrogen 5, prevăzută cu reductorul de presiune 6. Transformatorul are două înfăşurări, una de 300 V care alimentează circuitul de sudare şi una de 40 V care alimentează circuitul de comandă.

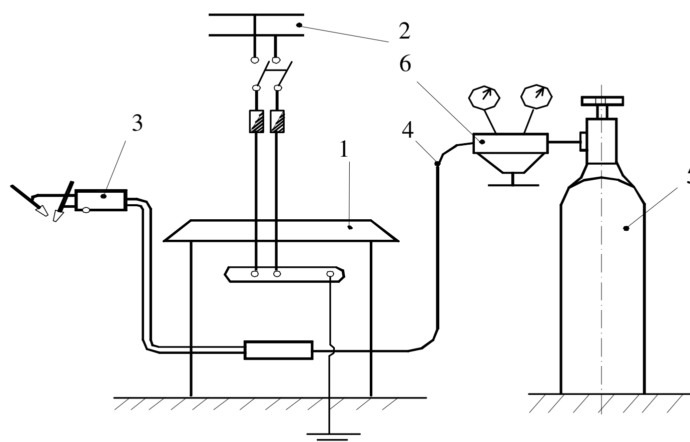


Fig. 6.76. Schema de principiu la instalația de sudare arc – atom:
1 – transformator pentru sudare; 2 – rețea de alimentare; 3 – port-electrod; 4 – furtun de legătură; 5 – butelie de hidrogen; 6 – reductor de presiune.

Schema de principiu a unei instalații pentru sudarea în mediu de gaz inert cu electrod nefuzibil (WIG; TIG) se prezintă în figura 6.77. Aceasta se compune din următoarele elemente principale: sursa de curent 1, ce poate fi de curent continuu, de curent alternativ sau combinată; bateria de condensatoare, înseriată în circuitul secundar al sursei, cu rolul de a opri componentele de curent continuu ce iau naştere la sudarea în curent alternativ (în special la sudarea aluminiului şi a aliajelor uşoare); instalația de răcire cu apă a cablului de alimentare cu curent şi a pistoletelor de sudare; blocul de comandă 2, ce permite conectarea sau deconectarea temporizată a curentului, deschiderea gazului de protecție şi cuplarea unui dispozitiv anticrater; pistoletul pentru sudare 3, ce poate fi răcit cu aer sau cu apă, prevăzut cu un cablu de legătură 4, de 4…10 m lungime; regulatorul de presiune 5, prevăzut cu debitmetru 6, având rolul de a asigura presiunea şi debitul de gaz necesare instalației pentru sudare şi o serie de elemente de supraveghere, comandă şi control.

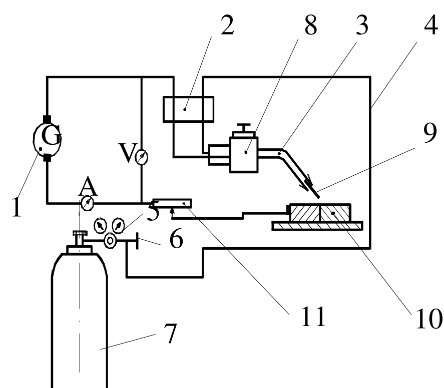


Fig. 6.77. Schema de principiu a instalației de sudare în mediu de gaz inert cu electrod nefuzibil(WIG, TIG): 1 – sursa de curent; 2- blocul de comandă; 3 – pistoletul de sudare; 4 – policablul coaxial; 5 – regulatorul de presiune; 6 – debitmetru; 7 – butelia de gaz inert; 8 – capul de sudare; 9 – electrodul nefuzibil; 10 – metalul de bază; 11 – reostat de balast; A – ampermetru; G – generator; V – voltmetru.

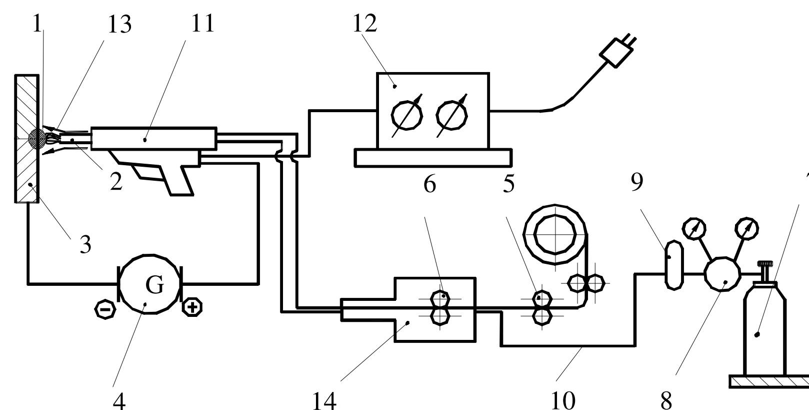


Fig. 6.78. Schema de principiu a unei instalații pentru sudarea în mediu de gaz inert sau gaz activ cu electrod fuzibil (procedeul MIG, MAG):
1 – arcul electric; 2 – sârma-electrod; 3 – metalul de bază; 4 – sursa de curent; 5 – rolele de împingere; 6 – rolele de tragere; 7 – butelia de gaz; 8 – reductorul de presiune; 9 – debitmetru; 10 – cablu poliaxial; 11 – pistoletul pentru sudare; 12 – blocul de comandă şi control; 13 – perdea de gaz protector; 14 – mecanismul de acționare şi conducere sârmă electrod.

Schema de principiu a unei instalații pentru sudarea în mediu de gaz inert sau gaz activ cu electrod fuzibil (procedeul MIG, MAG) se prezintă în figura 6.78. Arcul electric 1 se formează între sârma – electrod, care este materialul de adaos, şi piesa de sudat 3, legată la sursa de curent 4, care poate fi de curent continuu sau alternativ. Deoarece lungimea arcului trebuie păstrată în permanență aceeaşi, sârma electrod trebuie să avanseze cu o viteză egală cu viteza de topire. Antrenarea şi avansul sârmei – electrod se face pe principiul împinge-trage *(push-pull)* cu perechile de role 5 şi 6. Gazul inert sau activ vine din butelia 7, reductorul de presiune 8 şi debitmetrul 9 printr-un policablu coaxial 10 care face legătura între capul de sudare 11 şi butelia de gaz. Instalația mai cuprinde blocul de comandă 12

şi elementele de reglare, control şi urmărire a parametrilor procesului de sudare. Pistoletul de sudare are rolul de a conduce sârma de sudare în baia de metal topit şi de a asigura curgerea gazului care formează o perdea de protecţie 13, contra acţiunii aerului atmosferic. Sudarea se poate face semiautomat sau automat, în practică fiind folosită mai mult sudarea semiautomată.

6.7.6.3. Tehnologia sudării prin topire cu arc electric în mediu de gaze protectoare

Cuprinde o succesiune logică de operaţii şi faze necesare a se desfăşura în vederea executării unei cusături sudate de bună calitate. Aceste operaţii sunt:

1 - *Analiza materialului de bază* este prima operaţie care se face, iar în funcţie de modul în care s-a realizat depind în continuare toate operaţiile procesului tehnologic. În urma acestei analize trebuie cunoscute pe lângă compoziţia chimică şi starea suprafeţelor de îmbinat, grosimea pieselor de sudat, tipul îmbinării, poziţia de sudare, starea materialului (recopt, tratat termic, ecruisat, recristalizat etc).

2 - *Alegerea şi analiza materialului de adaos* se face atunci când sudarea se face cu material de adaos. În cazul procedeelor de sudare în mediu de gaze protectoare, materialul de adaos este sub formă de sârmă elaborată în colaci (procedeele MIG şi MAG) de diametre diferite sau sub formă de electrod – baghetă (procedeele WIG, TIG), care se introduce continuu în arcul electric, fie automat (procedeele MIG şi MAG), fie manual (procedeele WIG, TIG). Materialul de adaos trebuie să aibă o compoziţie chimică cât mai apropiată de cea a metalului care se sudează (de exemplu, pentru sudarea oţelurilor carbon, materialele de adaos au un conţinut redus de carbon, având în schimb un conţinut mai ridicat de mangan şi siliciu pentru asigurarea plasticităţii necesare cusăturii sudate). Caracteristica principală care trebuie luată în considerare la alegerea materialului de adaos este rezistenţa la tracţiune. La alegerea materialului de adaos trebuie avut în vedere faptul că la sudare, datorită amestecului cu metalul de bază şi a unei răciri rapide se înregistrează o creştere a rezistenţei mecanice şi o scădere a proprietăţilor de plasticitate în cusătura sudată. Există şi cazuri când metalul de adaos diferă mult de metalul de bază din punct de vedere al compoziţiei chimice.

Tabelul 6.17. *Câteva mărci de sârme folosite la sudarea oţelurilor în mediul de gaze protectoare*

Nr. crt.	Marca sârmei	Indicaţii de utilizare
1	S12Mn2Si	Sudarea în mediu de gaz protector a oţelurilor carbon şi slab aliate cu Mn. Gazul de protecţie recomandat: CO_2
2	S12Mn1.4Si	Idem ca la punctul 1, dar pentru structuri la care se cere ductilitate mai ridicată; asigură rezilienţă bună până la -10^0C, inclusiv pentru OL 52.
3	S12Mn1SiNi1Ti	Idem ca la punctul 1. Asigură rezilienţă bună până la -30^0C cu condiţia respectării purităţii şi umidităţii CO_2 şi a unei tehnologii adecvate.
4	S10Mn1SiMoCr1	Sudarea în mediu de gaz protector a oţelurilor slab aliate termorezistente cu rezistenţă ridicată. Gazul de protecţie recomandat CO_2+Ar sau Ar.

Tabelul 6.17. (*continuare*)

5	S12SiMoCr1	Sudarea în mediu de gaz protector a oțelurilor slab aliate cu Cr, Mo termorezistente. Gazul de protecție recomandat CO_2+Ar.
6	S40CrMn1Si1	Sudarea în mediu de gaz protector a oțelurilor aliate pentru tratament, solicitate la torsiune. Gazul de protecție recomandat CO_2+Ar.
7	S22MoCr	Sudarea în mediu de gaz protector a oțelurilor cu rezistență ridicată. Gazul de protecție recomandat CO_2+Ar sau Ar.

Tabelul 6.18. *Câteva mărci de sârme folosite la sudarea aluminiului şi aliajelor sale*

Nr. crt.	Marca sârmei	Metalul de bază indicat pentru sudare	Compatibilitatea la procedeele de sudare	
			WIG	MIG
1	SAl 99.8	Al 99.8; Al 99.7;Al 99.5; Al 99.5 E	F.B.	F.B.
2	SAlMg1	AlMg1; AlMg2; AlMg3; AlMgMn;AlMn1.	F.B.	B.
3	SAlMg3	AlMg3; AlMgMn;AlMg1; AlMg2 si aliajele turnate (STAS 201/2-71) cu element principal de aliere Mg.	F.B.	B.
4	SAlSi5	AlSi5; AlMgSi0.5; AlgSi0.8; AlMgSi1	F.B.	B.
		Aluminiu si aliajele de Al cu elemente de aliere până la 2%, aliajele turnate cu max.7% Si.	posibilă	posibilă
5	SAlCu6Mn	Pentru aliaje speciale	B.	B.

Câteva mărci de sârme folosite la sudarea oțelurilor se prezintă în tabelul 6.17, pentru sudarea aliajelor de aluminiu în tabelul 6.18, pentru sudarea aliajelor de Cu-Ni în tabelul 6.19, pentru sudarea aliajelor Cu-Al în tabelul 6.20, iar pentru sudare aliajelor de Ni în tabelul 6.21. Sârmele pentru sudarea aliajelor Cu-Ni trebuie să conțină 2,5…3,0% Si şi 1…2,5 % Mn. La sudarea alamelor se produce volatilizarea zincului, de aceea se utilizează material de adaos cu compoziție diferită de metalul de bază (de exemplu,Cu+Al, Cu+Mn+Si), care formează la suprafața băii de sudură o peliculă de oxid subțire ce împiedică ieşirea zincului sub formă de vapori. Spre deosebire de sudarea cu electrozi înveliți sau sub strat de flux, unde prin compoziția materialului purverulent utilizat se poate interveni asupra compoziției băii de metal topit, la sudare în mediu de gaz protector cu sârmă plină nu se poate acționa asupra băii (există şi posibilitatea utilizării unor sârme tubulare umplute cu flux care să conducă la alierea cusăturii). De aceea, materialul de adaos trebuie să conțină elemente care să asigure dezoxidarea şi alierea băii metalice, precum şi uniformizarea şi calmarea acestuia.

Tabelul 6.19. *Câteva mărci de sârme folosite la sudarea aliajelor Cu-Ni*

Aliajul Cu-Ni	Sârma (norme germane)	Compozitiă chimică[%]				
		Cu (min)	Ni	Ti	Mn	Fe
95-5	Kunifer 5 T	91,3	5-6	0,2-0,5	0,3-0,8	1,05-1,35
90-10	Kunifer 10T	86,4	9-11	0,2-0,5	0,5-1,0	1,5-1,8
70-10	Kunifer 30T	66,5	29-31	0,2-0,5	0,2-1,0	max.1,00

Tabelul 6.20. *Câteva mărci de sârme folosite la sudarea aliajelor Cu-Al*

Sârma	Compozitiă chimică [%]						
	Al	Mn	Fe	Ni	Si	Pb	Cu
Alumbronz 1	9	1,5	-	-	-	-	Restul
Alumbronz 2	9	1,5	2,0	2,0	-	-	Restul
Alumbronz 93/7	6-7,5	x	x	x	0,1	0,05	Restul

Tabelul 6.21. *Câteva mărci de sârme folosite la sudarea aliajelor de nichel*

Sârma	Compozitiă chimică [%]								
	Cu	Cr	Fe	Al	Ti	Mn	Si	C	S	Ni
Nichel 61	0,25	-	1,0	1,5	2,0-3,5	1,0	0,75	0,15	0,01	Min.93
Monel 60	rest	-	2,5	1,25	1,5-3	1,0	1,5	0,15	0,02	62-69
NC 82	0,20	18-21	0,5	-	-	1,2	0,5	0,26	-	min.67
Inconel92	0,5	14-17	10,0	-	2,5-3,5	2,0-1,75	0,35	0,1	0,01	rest
NC 90	-	18-21	5,0	0,8-0,2	1,8-3,0	1,0	1,5	0,13	-	

3 - *Controlul inițial al materialelor destinate îmbinării sudate* este necesar la îmbinările sudate de mare importanță, puternic solicitate în timpul funcționării. Se face controlul nedistructiv folosind lichide penetrante, controlul cu ultrasunete, prin emisie acustică sau curenți turbionari, conform standardelor şi normelor în vigoare;

4 - *Pregătirea pieselor în vederea sudării,* este o operație foarte importantă, de modul cum se execută depinzând calitatea îmbinării sudate. Aceasta presupune următoarele faze:

- *curățirea suprafețelor,* ce se face funcție de procedeul de obținere a pieselor de sudat şi poate fi mecanică (cu perii de sârmă, prin sablare, cu jet de aer sub presiune, prin aşchiere etc.) sau chimică;

- *debitarea la dimensiuni,* ce se face funcție de grosimea tablelor de sudat şi de tipul îmbinării. Forma şi dimensiunile rosturilor pentru îmbinarea MIG/MAG pentru oțelurile carbon şi slab aliate sunt standardizate, o parte din ele fiind prezentate în tabelul 6.22, pentru aluminiu şi aliajele sale fiind prezentate în tabelul 6.23, pentru cupru şi aliajele sale, în tabelul 6.24, iar pentru titan şi aliajele sale, în tabelul 6.25;

Tabelul 6.22. *Principalele tipuri de rosturi folosite la sudarea în mediu de gaz protector a oțelului carbon şi slab aliat*

Nr.crt.	Forma rostului	Dimensiuni	Denumire
1	2	3	4
1	s, b	*s*=1,0-2,0mm; *b*=0-1,1mm *s*=3,0-4,0mm; *b*=0-1,5mm *s*=5,0-6,0mm; *b*=0-2,0mm *s*=6,0-12,0mm; *b*=2-3,0mm	Rost cap la cap cu marginile neteşite (neprelucrate)

Tabelul 6.22. (*continuare*)

2		s=5,0-20,0mm; b=0-2,0mm s=10,0-30,0mm; b=0-1,0mm; a=40-60mm; c=1,0-3,0mm	Rost cap la cap cu teşirea în Y
3		s=8,0-30,0mm; α=30-50^0; b=1-30,0mm; c=0-3,0mm	Rost cap la cap cu teşirea în Y şi susținerea la rădăcină cu plăcuțe de oțel sau cupru
4		s>30,0mm; α=30^0; β=12^0 b=0-3,0mm; c=1-3,0mm	Rost cap la cap cu teşire în U
5		s=12,0-40,0mm; α=40-50^0; b=0-3,0mm; c=0-3,0mm	Rost cap la cap cu teşiri în K
6		s=15,0-40,0mm; α=30-50^0; b=1-30,0mm; c=4-6,0mm	Rost cap la cap cu teşiri în X
7		s>20,0mm; α=20-30^0; b=0-2,5mm; c=4-6,0mm	Rost cap la cap cu teşire în U
8		s>20,0mm; α=20-30^0; b=0-2,5mm; c=4-6,0mm; R=4-5,0mm	Rost cap la cap cu teşire în dublu U
9		s>30,0mm; α=20^0; b=0-3mm; c=1-2,0mm; R=8-10,0mm	Rost cap la cap cu teşiri în K
10		s=2-10,0mm; b=0-2mm;	Rost pentru îmbinări de colț

Tabelul 6.22. (*continuare*)

11		*s*>20,0mm; *b*=0-2,0mm; *L*=*s*+25mm *s*=5-20,0mm; *b*=0-1,5mm; *L*=*s*+25mm *s*=2,0-5,0mm; *b*=0-1,5mm; *L*=*s*+25mm	Rost pentru îmbinări prin suprapunere.
12		*s*=12-25,0mm; β=20-30^0; *b*=0-2,0mm; *c*=0-3,0mm	Rost pentru îmbinări de colț în V
13		*s*=8-25,0mm; β=45-55^0; *b*=0-2,0mm; *c*=0-3,0mm	Rost pentru îmbinări de colț în 1/2K
14		*s*=12-20,0mm; *b*=0-2,0mm; *c*=1-3,0mm *s*=20,0-40,0mm; *b*=0-3,0mm; *c*=3-5,0mm; β=40-50^0	Rost pentru îmbinări de colț în K

Tabelul 6.23. *Principalele tipuri de rosturi folosite la sudarea în mediu de gaz protectoare a aluminiului şi aliajelor sale*

Nr.crt.	Forma rostului	Dimensiuni	Denumire
1	2	3	4
1		*s*=1-1,5mm; *b*=0,25-1,0mm	Îmbinare pentru sudare cap la cap în I
2		*s*=6-12,5mm; *b*=0-2,0mm; α=60-70^0	Rost cap la cap cu teşire în Y
3		*s*>12mm; *b*=0-2,0mm; α=60-70^0; *c*=2-3mm	Rost cap la cap cu teşire în U

Tabelul 6.24. *Principalele tipuri de rosturi folosite la sudarea în mediu de gaz protector a cuprului şi aliajelor sale*

Nr.crt.	Forma rostului	Dimensiuni	Denumire
1		*s*=1-3,0mm(WIG); *s*=1-5,0mm(MIG);	Rost cap la cap fără teşirea marginilor
2		*s*=3-13,0mm (WIG); *b*=2-3,0mm; α=70-80^0 *s*=6-19mm (MIG); *b*=2-3,0mm; α=60-70^0	Rost cap la cap cu teşire în V
3		*s*=13-19mm; (WIG) *s*=10-25mm (MIG); *b*=0-0,2mm; α=70-80^0	Rost cap la cap cu teşire în Y
4		*s*>15mm (WIG); *b*=0-0,2mm; α=70-80^0; *c*=2,0mm *s*>19,0mm (MIG); *b*=0-0,2mm; α=60-80^0; *c*=2,mm	Rost cap la cap cu teşire în X

Tabelul 6.25. *Principalele tipuri de rosturi folosite la sudarea în mediu de gaz protector a titanului şi aliajelor sale*

Forma rostului imbinarii	Dimensiuni	Denumirea
	s = 0,5…3,0 mm	Rost cap la cap fără teşirea marginilor
	s ≥ 3 mm; *b* = 0,5…1,0 mm; *c* = 0,5 mm; $\alpha = 60^o$	Rost cap la cap cu teşire în Y
	s = 3,0…10,0 mm; *b* = 0…2,0 mm; *c* = 0,5…2,0 mm; $\alpha = 60^o…70^o$	Rost cap la cap cu teşiri în X

5 - *Protecţia rădăcinii cusăturii* se face pentru a preveni oxidarea şi apariţia unor defecte tipice în cusătura sudată. Protecţia se poate realiza în două moduri:

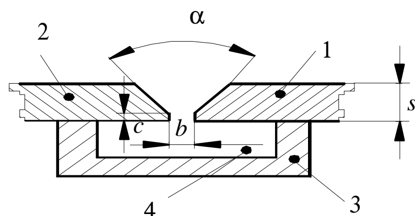


Fig. 6.79. Protecţia în grup a rădăcinii cusăturii:
1, 2 – metalele de bază; 3 – rigla suport de cupru; 4 – incinta pentru gazul protector.

- *folosirea unor rigle suport* (fig. 6.79), pentru îmbinări sudate obişnuite;

- *sudarea în incinte ermetic umplute cu gaz protector*, după ce s-a scos aerul cu ajutorul unor pompe de vid, pentru îmbinări ce reclamă condiţii deosebite.

6 - *Alegerea gazului de protecţie.* Se utilizează trei tipuri de gaze de protecţie: gaze inerte, gaze active şi combinaţii între acestea. Dintre gazele inerte cele mai utilizate sunt:

- *argonul*, gaz mai greu decât aerul (se obţine prin distilarea fracţionată a aerului lichid) şi asigură o ardere stabilă a arcului electric. Nu asigură un transfer corect în arc al picăturilor la sudarea oţelurilor, de aceea se adaugă în anumite proporţii O_2 sau CO_2. Este cel mai eficace gaz la sudarea WIG. Datorită conductibilităţii termice reduse, partea centrală a coloanei arcului este menţinută la o temperatură ridicată, picăturile de metal de adaos rămânând fluide. În curent alternativ are efect favorabil la deblocarea peliculei de oxid de pe suprafaţa metalului, uşurând totodată reamorsarea la fiecare semiperioadă. Puritatea argonului este de mare importanţă, ea condiţionând calitatea cusăturilor sudate şi se alege în funcţie de natura materialului de bază. Sudarea prin procedeul MIG cu arc lung şi intensităţi mari de curent nu este posibilă decât cu folosirea unei atmosfere de argon de min 85%. Aspectul în secţiune al unei cusături realizate în mediu de argon se prezintă în fig. 6.80. a;

- *heliul*, gaz mai uşor decât aerul şi se extrage din gazele naturale. Este un bun conducător de căldură şi asigură un arc cald. Are un potenţial de ionizare mai mare ca argonul şi se utilizează în general la sudarea prin procedeul WIG numai în curent continuu indiferent de metalul de bază sudat (aliaje uşoare, cupru etc.). Are o serie de avantaje faţă de argon (viteze de sudare mai mari, creşterea grosimilor sudabile dintr-o singură trecere, încălzirea locală mai intensă etc.) dar este mult mai scump. Aspectul unei cusături sudate în mediu de heliu se prezintă în fig. 6.80. b;

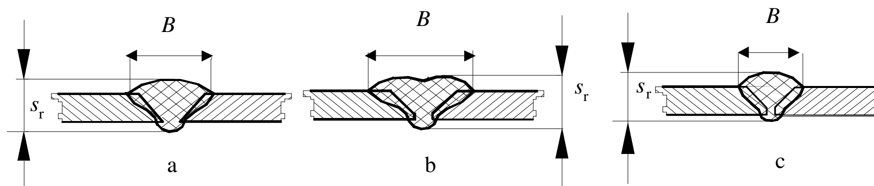


Fig. 6.80. Aspectul unei cusături sudate:
a – în mediu de argon; b – în mediu de heliu; c – în mediu de CO_2.

- *dioxidul de carbon* se obţine din emanaţii naturale, fermentaţii alcoolice şi din gazele de ardere reziduale. Sunt trei tipuri A, S şi T, dar numai tipul S este utilizabil la sudare şi trebuie să aibă puritate min 99,5% şi un conţinut de max. 0,3g apă/m^3. Impurităţile care deranjează sunt azotul, umiditatea şi oxigenul. Începând de la 4 000K, temperatură atinsă uşor în coloana arcului, CO_2 se disociază aproape complet ($2CO_2 \rightarrow 2CO + O_2$), crescând volumul de gaz protector şi transferul de

metal efectuându-se prin picături mari, cu sau fără scurtcircuit. Folosind densități mari de curent se pot obține pătrunderi mari. Aspectul cusăturii sudate obținute în mediu de CO_2 se prezintă în fig. 6.80. c.

7 - *Stabilirea regimului de sudare* se face în funcție de natura şi de grosimea materialului de sudat şi tipul procedeului de sudare, astfel:

• la sudarea prin procedeul WIG se aleg următorii parametri ai regimului de sudare:

a) *diametrul electrodului de wolfram* d_e se alege în funcție de grosimea tablelor de sudat (tab. 6.26).

Tabelul 6.26. *Diametrul electrodului de wolfram la sudarea prin procedeul WIG*

Grosimea piesei [mm]	0...2	2…5	5…8	8…12	>12
Diametrul electrodului de wolfram d_e [mm]	2	3	4	4…5	5…6

b) *intensitatea curentului de sudare* I_s se alege în funcție de densitatea de curent admisă de electrozii de wolfram. Electrodul se încarcă la valori de curent suficient de mari pentru a realiza un arc stabil şi o concentrație maximă de căldură. La alegerea intensității curentului se ține seama de asemenea de natura materialului de sudat, felul curentului şi grosimea pieselor de sudat;

c) *tensiunea arcului* U_a se stabileşte cu relația:

$$U_a = 10 + 0{,}04 I_s \ [\mathrm{V}] \ . \tag{6.47}$$

Tensiunea arcului creşte la creşterea curentului de sudare, dar nu depăşeşte valoarea de 44V.

Tabelul 6.27. *Alegerea diametrului diuzei pentru gazul de protecție, a debitului de argon şi a diametrului vergelei materialului de adaos*

Aliajul (m.b.)	Grosimea δ (mm)	I_s (A)	d_e (mm)	d_d (mm)	d_v (mm)	D_{Ar} (m^3/h)
Aluminiu DC^+sau AC	1,6	60-90	1,6	6,3	1,6	0,42
	3,2	110-160	2,4	9,5	3,2	0,51
	6,3	200-350	5,0	12,7	4,0	0,71
	12,7	200-450	6,3	20,0	6,3	0,81
Cupru DC^-	1,6	90-160	1,6	8,0	1,6	0,38
	3,2	120-200	2,4	9,5	2,4	0,42
	6,3	150-375	3,2	12,7	3,2	0,42
	12,7	250-600	5,0	20,0	6,3	0,51
Magneziu DC^- sau AC	1,6	35-60	1,6	6,3	2,4	0,42
	3,2	80-110	1,6	9,5	3,2	0,51
	6,3	100-150	2,4	9,5	4,0	0,57
	12,7	200-265	4,0	12,7	5,0	0,71
Oțeluri DC^-	1,6	80-120	1,6	6,3	1,6	0,34
	3,2	100-200	2,4	9,5	2,4	0,34
	6,3	200-350	3,2	12,7	3,2	0,42
	12,7	300-450	5,0	12,7	6,3	0,42

d) *diametrul duzei pentru gazul de protecție d_d, diametrul vergelei de material de adaos d_v* şi *debitul de argon D_{Ar}* se aleg în funcție de natura materialului de bază, grosimea pieselor de sudat şi intensitatea curentului de sudare (tab. 6.27).

• la sudarea prin procedeul MIG, MAG se determină următori parametri ai regimului de sudare:

a) *modul de transfer al metalului topit,* ce se face în funcție de natura materialului de sudat, grosimea pieselor de sudat şi aspectul cusăturii sudate;

b) *diametrul sârmei-electrod d_e,* ce se alege în funcție de grosimea pieselor de sudat, calitatea cusăturii sudate şi productivitate;

c) *intensitatea curentului de sudare I_s,* ce se alege în funcție de diametrul sârmei-electrod şi de modul de transfer al metalului topit, folosind relațiile:

$$I_s = 125{,}5 \cdot d_e - 32{,}25 \quad [\text{A}] \tag{6.48}$$

în cazul transferului arc-scurt, şi

$$I_s = -67 \cdot d_e^{\,2} + 370 d_e - 78 \quad [\text{A}] \tag{6.49}$$

în cazul transferului fin.

d) *tensiunea arcului U_a,* ce se calculează folosind relațiile:

$$U_a = 14 + 0{,}05 \cdot I_s \quad [\text{V}] \tag{6.50}$$

pentru valori ale curentului sub 500A, şi

$$U_a = 13{,}34 + 0{,}0505 \cdot I_s \quad [\text{V}] \tag{6.51}$$

pentru curenți de 500…950A.

e) *debitul de gaz protector D_g,* ce se determină ținându-se cont că pe măsura creşterii debitului de gaz coeficienții de topire şi de depunere cresc. Peste valori mai mari de 2 000l/h scăderea este insensibilă, iar la debite prea mari apar pori datorită protecției insuficiente. În practică debitele variază în gama de valori 900…1 500l/h;

f) *lungimea liberă a sârmei-electrod L_e* (fig.6.81),ce se calculează cu relația:

$$L_e = l + h \quad [\text{mm}] \tag{6.52}$$

şi se recomandă valorile din figura 6.8. b.

- *viteza de avans a sârmei-elctrod v_a*, ce se alege în funcție de diametrul sârmei-electrod d_e, intensitatea curentului de sudare I_s şi de modul de transfer a metalului de adaos topit (fig. 6.82);

- *viteza de sudare v_s*, ce se calculează luând în considerare modul de transfer al metalului lichid, diametrul electrodului d_e şi natura materialului de bază. Se folosesc relațiile:

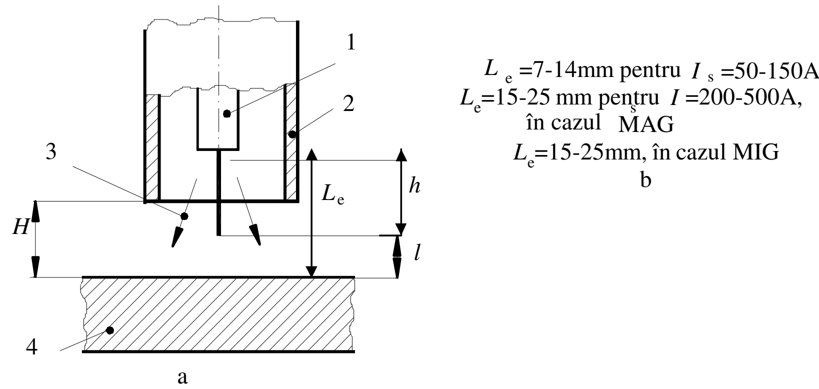


Fig. 6.81. Lungimea liberă a sârmei electrod L_e:
a – schema de principiu: 1 – tub de ghidare a sârmei electrod; 2 – ajutaj pentru protecție; 3 – gaz pentru protecție; 4 – metalul de bază; b – valori recomandate.

$$\rho(kv_s) = 1003{,}2005 - 241{,}1348/d_e + 1059{,}3455/d_e^2 \qquad (6.53)$$

în cazul modului de transfer cu arc-scurt, pentru orice metal sau aliaj metalic cu excepția oțelurilor, și

$$kv_s = 127{,}8 - 31{,}7/d_e + 135/d_e^2 \qquad (6.54)$$

pentru oțeluri;

$$\rho(kv_s) = 289{,}923d_e^2 - 315{,}71961d_e + 9243{,}226 - \frac{2890{,}8702}{d_e} + \frac{1283{,}481}{d_e^2} \qquad (6.55)$$

în cazul modului de transfer fin, pentru orice metal sau aliaj metalic cu excepția oțelurilor, și

$$kv_s = 37d_e^2 - 402d_e + 1177{,}5 - 368/d_e + 163{,}5/d_e^2 \qquad (6.56)$$

pentru oțeluri.

În relațiile (6.53) – (6.56) pentru oțeluri dacă se înlocuiește d_e, în mm, și densitatea materialului de bază ρ, în kg/dm^3, se obține pentru viteza de sudare, produsul kv_s în cm/min.

i) *distanța dintre duza de gaz și metalul de sudat,* ce se alege astfel încât să se asigure o bună protecție a metalului de bază și totodată să nu se astupe duza datorită stropilor de metal topit (fig 6.83);

j) *polaritatea,* ce se alege în funcție de natura curentului, modul de transfer a metalului topit și de natura materialului de bază. Sudarea în curent alternativ nu se aplică, arcul având o stabilitate nesatisfăcătoare. La sudarea cu polaritate directă coeficientul de depunere este mai ridicat decât la polaritatea inversă. La polaritatea

inversă metalul topit trece prin arc sub formă de picături fine, arcul este stabil şi împroşcările cu stropi sunt maxime;

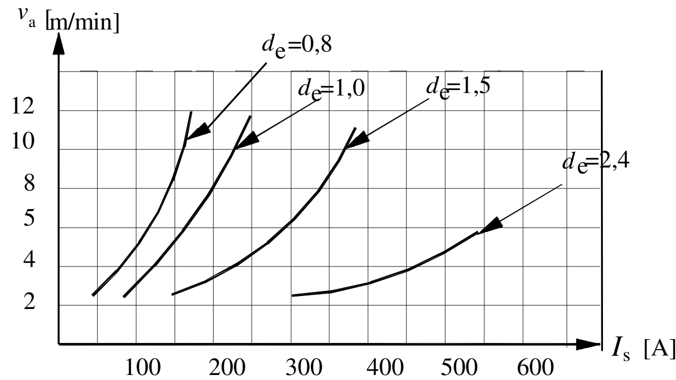


Fig. 6.82. Alegerea vitezei de avans a sârmei-electrod v_a în funcţie de intensitatea de sudare I_s şi diametrul sârmei-electrod d_e.

k) *energia liniare E_l,* ce se alege având în vedere obţinerea unui cordon cu geometrie stabilită, folosind relaţia:

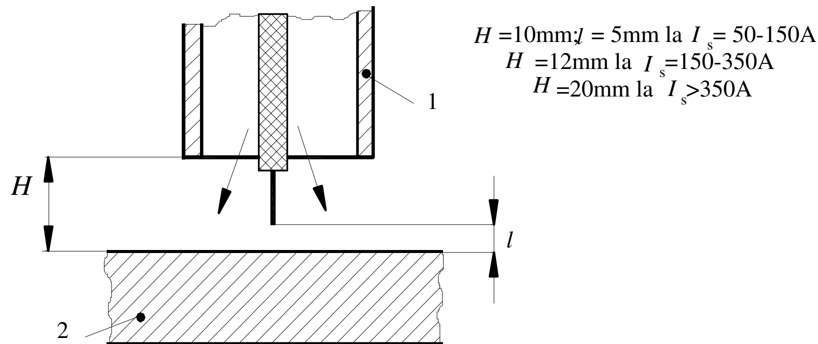


Fig. 6.83. Stabilirea distanţei *H* între duza de gaz şi metalul de sudat:
1 – duza de gaz; 2 – metalul de sudat

$$E_l = \frac{U_a \cdot I_s}{v} \cdot \eta_a \quad \text{[J/m]} \tag{6.57}$$

în care η_a este randamentul arcului electric (η_a= 0,8);

l) *determinarea ratei depunerii A_D* ce se calculează în funcţie de intensitatea curentului de sudare folosind relaţia:

$$A_D = 0{,}3 \cdot 10^{-4} \cdot I_s^{\,2} + 0{,}1 \cdot 10^{-2} \cdot I_s + 0{,}5 \quad \text{[kg/h]} \tag{6.58}$$

dacă 100A < I_s < 600A.

Câteva regimuri de sudare recomandate la sudarea MIG şi MAG a materialelor cele mai des întrebuințate se prezintă în tabelele 6.28… 6.35.

Tabelul 6.28. *Parametrii regimului la sudarea oțelurilor carbon slab aliate*

Parametrii regimului de sudare	Oțeluri carbon şi slab aliate	Tipul de rost								
		s		60°, s						
s [mm]		3,2	5	6		8		12		20
n_t [nr.de treceri]	sudarea spray-arc	1	2	1	2	1	2	1	2	4
d_e [mm]	Ar+5%CO_2	1,6	1,6	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
I_s [cc$^+$] [A]	D_G=20...25 [1/min]	280	375	375	430	400	420	400	460	450
U_a [U]		24	26	27	27	28	28	28	28	30
V_s [cm/min]		50	60	60	60	50	50	35	35	30
V_e [cm/min]		420	660	210	244	220	234	220	254	254

Tabelul 6.29. *Parametrii regimului la sudarea oțelurilor inoxidabile*

Parametrii regimului de sudare	Oțeluri carbon şi slab aliate	Tipul de rost			
		s	60°, s	60°, s, 1,6-2,0	
s [mm]		3,2	6	10	72
n_t [nr.de treceri]	sudare spray-arc	1	2	2	3
d_e [mm]	Ar+2%O_2	1,6	1,6	1,6	2,4
I_s [A]	D_G=18 [1/min]	220	275	300	325
U_a [U]		25	27	28	30
V_s [cm/min]		48-53	48-53	38-43	18-43
V_e [cm/min]		355	444	508	572

Tabelul 6.30. *Parametrii regimului la sudarea aluminiului şi aliajelor sale*

s [mm]		s	3,2	5	6	10
Parametrii regimului de sudare	n_t		1	1	1	1
	d_e [mm]	Aluminiu şi aliajele sale	1,2	1,2 - 1,6	1,6	1,6
	I_s [cc $^+$] [A]		90-120	120-150	180-250	220-260
	U_a [V]		19-21	22-24	27-30	28-30
	V_s [cm/min]		81	68	56	45
	D_{Ar} [1/min]		15-20	15-20	15-20	20-30

Tabelul 6.31. *Parametrii regimului la sudarea aluminiului şi aliajelor sale*

Aluminium şi aliajele sale		60°, s, s/2			60°, s, 1,6-3, 0,5-1			
s[mm]		12	16	20	12	20	25	12
Parametrii regimului de sudare	n_t	1	1	1	4	5	7	1
	d_e[mm]	1,6	1,6	1,6	1,6	2,4	2,4	1,6
	I_s[cc$^+$],[A]	240-280	260-320	300-400	200-230	260-300	260-300	220-250
	U_a[V]	28-30	29-31	33-37	27-29	27-29	27-29	28-30
	v_s[cm/min]	40	30	30	45	35	30	45
	D_{Ar}[l/min]	20-30	30-40	30-40	20-30	20-30	20-30	20-30

Tabelul 6.32. *Parametrii regimului la sudarea cuprului şi aliajelor sale*

Cuprul şi aliajele sale		Tipul de rost			
(M.I.G.)		s	s	90°, 5, s	90°, 7
s [mm]		3,2	6	10	12
Parametrii regimului de sudare	n_t	1	1;2	1;2	1;2
	d_e[mm]	1,6	2,4	2,4	2,4
	I_s [cc+], [A]	310	450; 500	500; 550	540; 600
	U_a [V]	27	26	27	27
	V_s[cm/min]	76	50	35	28
	V_e [cm/min]	508	343; 380	380; 432	420; 457

Tabelul 6.33. *Parametrii regimului la sudarea cuprului şi aliajelor sale*

Materialul şi metoda de sudare	Grosimea s [mm]	d_e [mm]	D_{Ar} [1/min]	I_s [A]	n_t	V_s [m/min]	Temperatura de preîncălzire [°C]
Cupru dezoxidat (M.I.G. semiautomat)	3 6 10	1,6 2,4 2,4	14 19 21	270-350 380-420 430-480	1-2 2 2		- 300 500
Cupru dezoxidat (M.I.G. automat)	3 6 10	1,6 2,4 2,4	19 19 19	330-380 440-500 500	1 2 2	0,75 0,50 0,38	- 300 400
Bronz cu siliciu (M.I.G. automat)	3 6	2,4 2,4	17 19	170-200 340	1 2	0,75 0,75-1,0	- -
Bronz cu aluminiu (M.I.G. semiautomat)	5	1,6	19	180	2	-	-
Bronz cu aluminiu (M.I.G. automat)	3 6 10	1,6 1,6-2,4 2,4	19 24 24	250 340 400	1 2 2	0,6 0,6 0,6	- - -

Tabelul 6.34. *Parametrii regimului la sudarea nichelului şi aliajelor sale*

Sârma tip	U_0 [V]	U_a [V]	I_s [A]	f_{sc} [s^{-1}]	v_a [m/min]
Nichel 61	22-23 23-24	20 21	140 190	60 140	8,13 10,40
Monel 60	22-23	20	170	150	12
N C 82	23-24 23-24	22,5 22	180 110	30 15	13,10 0,30

Tabelul 6.35. *Parametrii regimului la sudarea MIG a titanului şi aliajelor sale*

Grosimea tablei *s* [mm]	Mod de prelucrare a rostului	I_s [A]	U_a [V]	d_e [mm]	v_s [m/h]	Debit de gaz [l / min]	
						La arzător	Suplimentar
3 6 16	V; $\alpha = 60^o$ V; $\alpha = 60^o$ X ; $\alpha = 90^o$	200-220 300-330 400-420	20-25 22-27 25-30	1,5 2 1,6	22 20 25	35-40 35-40 40-45	35-40 35-40 40-45

8 - *Alegerea utilajului pentru sudarea în mediu de gaze protectoare* se face luând în considerare: natura materialelor de sudat, tipul îmbinării, productivitatea, calitatea cordonului de sudură şi importanţa sudurii în exploatare, natura gazului protector şi tipul procedeului de sudare (WIG, TIG, MIG, MAG);

9 - *Execuţia propriu-zisă a cusăturii sudate* se face după ce piesele au fost poziţionate şi fixate corespunzător rostului îmbinării. Se ţine cont apoi de particularităţile fiecărui procedeu de sudare, particularităţi legate de tipul instalaţiei folosite, tipul îmbinării sudate şi poziţia cusăturii sudate.

La procedeul de sudare WIG amorsarea arcului se face pentru o poziţie perpendiculară a pistoletului în raport cu piesa de sudat. Se efectuează apoi mişcări circulare pe loc, până se formează baia de sudură, urmate de înclinarea pistoletului la 80°…90°.

Materialul de adaos se introduce intermitent în arc sub un unghi de 15…25° (fig.6.84. a). Pentru a realiza o bună depunere, sârma de sudare poate executa uşoare mişcări în arc de cerc, în raport cu formarea picăturilor.

La procedeele MIG şi MAG, în general, pistoletul de sudare este condus manual în lungul îmbinării. Pistoletul se va înclina cu 75°…80° faţă de piesa de sudat (fig.6.84. b) şi se vor respecta distanţele recomandate între duză şi piesă. Deplasarea pistoletului se poate face în direcţia de sudare (pătrundere mai bună, cordon de sudură îngust şi înalt) sau în sens invers acesteia (pătrundere mică, cusătură de lăţime mare). Mişcările electrodului sunt în raport cu poziţia stratului de sudură în cusătura sudată (fig.6.85). La realizarea cusăturii sudate orizontale stratul de rădăcină se execută prin mişcări ale pistoletului ca în fig. 6.85. a, stratul următor cu mişcări ca în figura 6.85. b, iar stratul de acoperire cu mişcări ca în fig. 6.85. c.

Pentru cusăturile verticale sudarea se face numai ascendent (fig. 6.84. d), rădăcina nu are supraînălţare şi se execută uşoare oscilaţii. Sudarea îmbinărilor orizontale în plan vertical (în cornişă) se face sub formă de straturi care apar ca şiruri paralele (fig 6.85. e). La sudurile de colţ primul strat se depune imprimând capului de sudare mişcări în formă de buclă (fig.6.85. f), iar următoarele mişcări fiind în zig-zag.

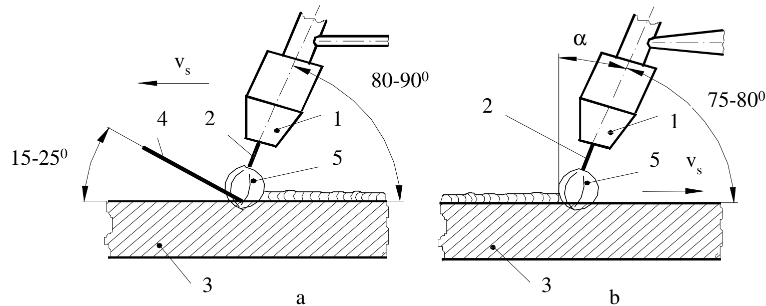


Fig. 6.84. Poziţia capului de sudare:
a – la procedeul WIG, TIG; b - la procedeul MIG, MAG: 1 - capul de sudare; 2 – electrodul nefuzibil (a), sau fuzibil (b); 3 – metalul de bază; 4 – materialul de adaos; 5 – arcul electric.

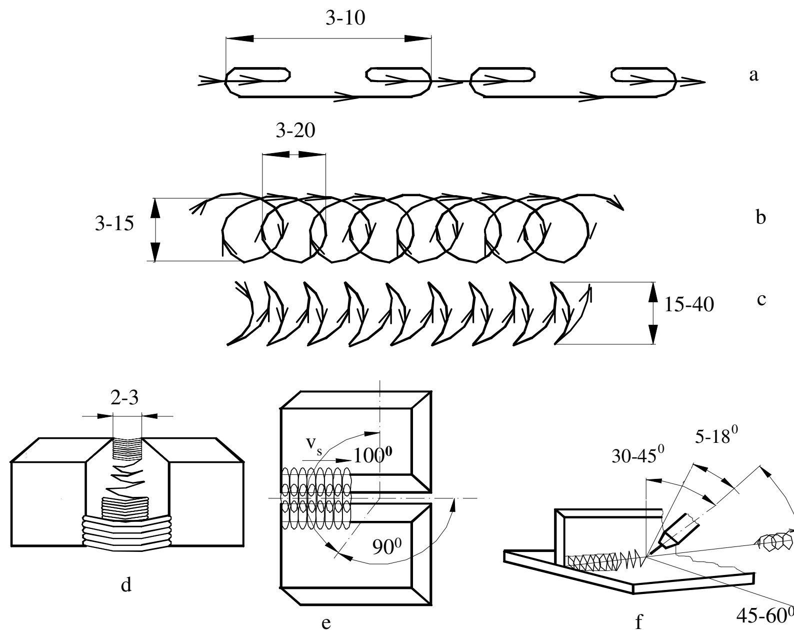


Fig. 6.85. Tehnica de lucru la realizarea cusăturilor:
a, b, c – orizontale; d – verticale; e – orizontale în plan vertical; f – de colţ.

11 - *Controlul cusăturilor sudate* are drept scop punerea în evidență a eventualelor defecte care au apărut în procesul de sudare sau după procesul de sudare, datorate naturii materialelor de îmbinat, nerespectrii tehnologiei de execuție sau unor cauze accidentale. Principalele defecte ce pot apărea sunt: crăpăturile; fisurile longintudinale, radiale, în crater; porii; suflurile; lipsa de pătrundere; lipsa de topire la rădăcină; formarea unor compuşi cu fragilitate ridicată sau rezistență mică la coroziune; defectele de formă; crestăturile; tensiunile interne şi altele. Punerea în evidență a acestor defecte se poate face prin metodele de control nedistructiv ca: optico–vizuale; cu radiații penetrante; cu lichide penetrante; cu ultrasunete; cu pulberi magnetice; cu curenți turbionari; prin emisie acustică; prin termografiere etc.

12 - *Stabilirea tratamentelor termice* urmăreşte obținerea de structuri corespunzătoare unor anumite asociații de proprietăți cerute în exploatare pentru îmbinarea sudată, precum şi reducerea tensiunilor remanente. În funcție de scopul urmărit se pot aplica următoarele categorii de tratamente termice: recoaceri; reveniri; normalizări; îmbunătățiri; căliri şi altele.

6.7.7. Sudarea electrică prin topire sub baie de zgură

6.7.7.1. Schema de principiu

La acest procedeu, căldura necesară topirii se obține prin rezistența, la trecerea curentului electric, a băii de zgură topită care acoperă baia de sudură formată din materialul de adaos topit şi o parte din marginile topite ale materialului de bază. Căldura degajată Q, prin trecerea curentului electric de intensitate I_s, prin zgura topită de rezistență R_z, se calculează cu relația:

$$Q = 0{,}24 \cdot R_z \cdot I_s^2 \cdot t \quad [\text{ J }] \tag{6.59}$$

în care t este timpul de trecere a curentului electric, în secunde.

În prima fază a procesului se dezvoltă un arc electric (fig.6.86) între sârma electrod 1 şi plăcuța de susținere 5. Sârma se desfăşoară de pe colacul 2, fiind antrenată de sistemul de role 3 şi ghidată de teaca de ghidare 4, până la plăcuța de susținere 5. Sârma şi materialul de sudat sunt legate în secundarul transformatorului 15. Plăcuța este sudată în prealabil de materialele de bază 6 şi 7 ce urmează a fi îmbinate, şi împreună cu patinele de răcire formează un jgheab 16. Arcul electric arde sub stratul de flux 8, existent în rostul îmbinării, până topeşte o cantitate suficientă de flux ce va forma baia de zgură fluidă 9. Baia de zgură îneacă arcul electric şi acesta se stinge, dar curentul electric trece în continuare prin baia de zgură topită şi baia de metal. Datorită efectului Joule-Lentz la trecerea curentului prin baia de zgură se dezvoltă o cantitate de căldură dată de relația (6.59), care topeşte sârma electrod şi marginile materialului de bază formând baia de sudură 10. Pentru formarea cusăturii sudate, baia de zgură şi baia de sudură sunt

susținute lateral de două patine glisante de cupru 11 şi 12, răcite cu apă 13, care se deplasează pe verticală cu viteza de sudare v_s. Patinele de cupru sprijină baia de sudură, baia de zgură topită şi fluxul şi ajută la formarea cusăturii sudate 14. Periodic se completează cantitatea de flux. Numărul sârmelor electrod este variabil în funcție de grosimea pieselor de sudat, uneori putând executa şi o mişcare de pendulare. În locul sârmelor elctrozi se pot folosi şi electrozi lamelari.

Procesul de sudare se desfăşoară pe verticală putându-se realiza îmbinări cap la cap pe componente plane sau inelare, cu grosimi de 30...1 500 mm.

Procedeul are următoarele avantaje:

- se utilizează pentru sudarea unor piese de grosimi mari şi foarte mari (caje de laminor, batiuri de maşini - unelte, prăjini de foraj, virole, recipienți etc.);
- are o productivitate foarte mare (se pot depune până la 300 kg metal/oră, față de 2 kg la sudarea manuală);
- lipsa necesității pregătirii îngrijite a marginilor pieselor de îmbinat;
- obținerea unor structuri de normalizare, cu proprietăți mecanice foarte bune, datorită masei relativ mari de metal topit şi răcirii dirijate, mult mai bună în comparație cu celelalte procedee de sudare.

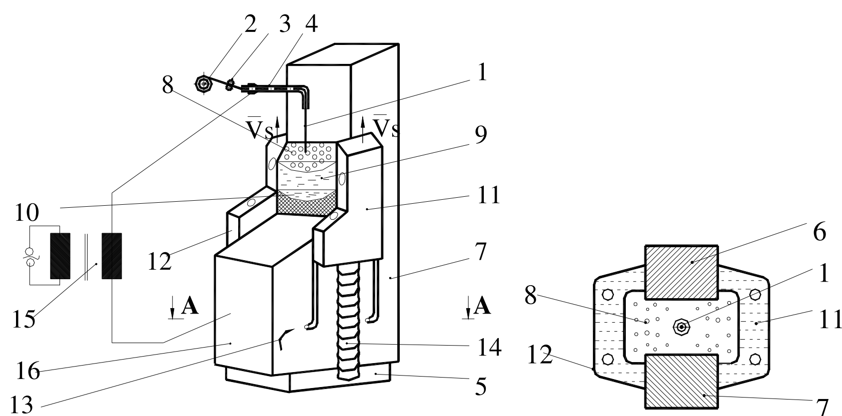


Fig. 6.86. Schema de principiu la sudarea electrică sub baie de zgură:
1 – sârma-electrod; 2 – colacul de sârmă; 3 – rolele de antrenare; 4 – teaca de ghidare; 5 – placa de susținere; 6, 7 – metalele de bază; 8 –fluxul; 9 – baia de zgură; 10 – baia de metal topit; 11, 12 – patinele de răcire; 13 – apa de răcire; 14 – cusătura sudată; 15 – sursa de curent folosită la sudare; 16 – jgheabul de susținere.

6.7.7.2. Particularități ale sudării prin topire sub baie de zgură

Spre deosebire de celelalte procedee de sudare electrică prin topire, acest procedeu prezintă o serie de particularități legate de:

1 - *Fluxul folosit,* care influențează direct calitatea îmbinării sudate. El trebuie să asigure:

- o reglare rapidă şi uşoară a procesului de sudare şi menținerea stabilă a acestuia la variațiile largi ale parametrilor electrici;

- o rezistență electrică suficientă pentru dezvoltarea căldurii necesare;

- prin topire să rezulte o zgură de vâscozitate limitată, care să permită formarea corectă a cusăturii sudate şi desfăşurarea normală a procesului.

În general se folosesc fluxuri ordinare ca la sudarea sub flux sau fluxuri speciale.

2 - *Sârma electrod,* care trebuie să aibă un conținut de carbon mai redus pentru a evita apariția fisurilor. Pentru a îmbunătăți proprietățile mecanice ale îmbinării sudate se folosesc sârme cu un conținut mai ridicat de siliciu şi mangan.Alegerea sârmelor electrod trebuie făcută în raport cu particularitățile metalurgice ale procesului, compoziția chimică a metalului de bază şi tipul de flux folosit.

3 - *Parametrii regimului de sudare*, care trebuie aleşi în concordanță cu grosimea pieselor de sudat, natura materialelor de bază şi de adaos, natura fluxului folosit, structura ce trebuie realizată, tipul cusăturii şi productivitatea procesului. Principalii parametrii sunt:

- *diametrul sârmei electrod* d_e, ce se alege în funcție de grosimea pieselor de sudat. Uzual se folosesc sârme în diametru de 3,25mm, dar poate fi şi gama 2,5...5,0 mm;

- *numărul sârmelor electrod n*, ce creşte odată cu grosimea pieselor de sudat şi dimensiunile rostului îmbinării. Se pot folosi două sârme electrod, pentru grosimi de 50...500 mm; trei sârme electrod, pentru grosimi de 500...800 mm şi 4...12 sârme electrod, pentru grosimi de 800...1 500 mm;

- *intensitatea curentului de sudare pe un electrod* I_{se}, ce conduce direct la dezvoltarea căldurii necesare topirii fluxului şi a materialelor de bază şi de adaos. Se alege ținând cont de natura materialelor de bază de sudat şi a fluxului şi se corelează cu viteza de avans a sârmei electrod;

- *tensiunea de sudare* U_a, ce influențează direct stabilitatea procesului. Dacă tensiunea aleasă este prea mică, poate conduce la scurtcircuitarea sursei de sudare, iar dacă este prea mare, apare un arc electric între sârma electrod şi baia de zgură perturbând stabilitatea procesului. Valorile optime ale tensiunii sunt între 40 şi 50 V;

- *distanța d, între electrozi*, ce se calculează în funcție de grosimea *s*, a pieselor de sudat, distanța d_m între electrozii marginali patinele de răcire şi mărimea razei de pendulare d_p, folosind relația:

$$d = \frac{1}{h}(s + d_p - 2d_m) \quad ; \tag{6.60}$$

- *viteza de avans a sârmei electrod* v_a, ce se corelează cu diametrul electrozilor şi puterea sursei de sudare, valorile optime determinate experimental fiind de 1,5...8,0 m/min;

- *forma şi deschiderea b, a rostului*, care variază în funcţie de natura materialelor de sudat şi tipul îmbinării. Indiferent de grosimea pieselor de sudat, rostul este în "I" cu o deschidere b= 25...35mm. Rosturile cu deschidere mai mică sunt mai economice, dar apar dificultăţi legate de dispunerea capetelor de lucru. Feţele rostului fiind plane, prelucrarea se face prin debitare cu flacără oxigaz şi se curăţă de oxizi pe o lăţime de 150 mm de o parte şi de alta a rostului;

- *lungimea liberă a sârmei electrod* L_e (de la bucşa de contact la baia de zgură) se ia în mod uzual de 60...80 mm, iar în condiţii speciale poate ajunge până la 200 mm. Dacă lungimea liberă a sârmei este prea mare, ea se supraîncălzeşte şi se poate topi chiar înainte de contactul cu zgura, iar dacă este prea mică, va conduce la supraîncălzirea bucşei de contact.

- *viteza de sudare* v_s este dată de viteza de deplasare a băii de metal topit (viteza de formare a cusăturii sudate) şi se calculează cu relaţia:

$$v_s = v_a \cdot \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \cdot \frac{n}{s \cdot b} \quad [\text{ m/h }] \ , \qquad (6.61)$$

în care: v_a este viteza de avans a sârmei electrod; n - numărul de sârme electrozi care lucrează simultan; d_e - diametrul sârmei electrod; s - grosimea pieselor ce se sudează; b - deschiderea rostului;

- *adâncimea băii de zgură h* este grosimea stratului de zgură provenit din topirea fluxului. Adâncimea mică a băii de zgură conduce la instabilitatea procesului provocând scurtcircuit. Valorile optime ale adâncimii băii de zgură sunt cuprinse între 30...70 mm;

- *caracterul curentului*, ce depinde de sursa de curent folosită. Deoarece procesul de lucru exclude arcul electric, se folosesc surse de curent alternativ cu tensiunea de mers în gol mai redusă.

4 - *Tehnica execuţiei cusăturii sudate* trebuie să asigure o uniformitate a cusăturii sudate pe toată lungimea sa, o începere şi o terminare a cusăturii sudate în aşa fel încât să se evite apariţia defectelor de tipul incluziunilor de zgură, nepătrunderilor, fisurilor şi craterelor. Tehnica de lucru presupune realizarea următoarelor faze:

- centrarea corectă a capului de sudare în raport cu rostul;
- aşezarea patinelor de cupru şi verificarea modului de deplasare;
- centrarea sârmei electrod în raport cu feţele rostului;
- aşezarea corectă a pieselor de susţinere pentru începerea cusăturii şi a plăcilor de capăt pentru terminarea cusăturii;
- realizarea corectă a mişcărilor de pendulare;
- conectarea curentului de sudare şi a avansului sârmei electrod;
- începerea cusăturii pe placa de susţinere;
- realizarea cusăturii propriu-zise;
- închiderea cordonului de sudură pe placa de capăt;
- deconectarea curentului de sudare şi a avansului sârmei electrod.

Ciclul termic care determină structura şi proprietățile zonei influențate termic este caracterizat prin viteze de încălzire şi răcire relativ mici şi menținere îndelungată la temperatură ridicată. În aceste condiții se poate constata o structură Widmanstatten, care reduce valorile rezilienței de 2...3 ori față de metalul de bază. Pentru a înlătura această structură se folosesc tratamentele termice sau vibrațiile ultrasonice, pentru a obține o structură fină cu proprietăți deosebite.

Un procedeu conex procedeului de sudare în baie de zgură este *rafinarea în baie de zgură*, ce constă în obținerea de oțeluri cu grad ridicat de puritate.

6.7.8. Sudarea cu plasmă

6.7.8.1. Generalități. Scheme de principiu

Temperatura arcului electric deschis, acoperit sau protejat, ajunge la 6 000 … 8 000°C şi densități de energie de până la 10^7 W/cm^2, suficientă pentru topirea oricărui corp solid. Plasma este un gaz puternic disociat şi ionizat, compus dintr-un amestec de electroni, ioni pozitivi şi atomi conținând 10^9 particule electrizate într-un cm^3. Pentru a obține plasma se folosesc arzătoare numite *plasmatroane* sau *generatoare de plasmă*, care asigură comprimarea radială şi lungirea axială a arcului electric. După modul de amorsare a arcului electric se disting două variante:

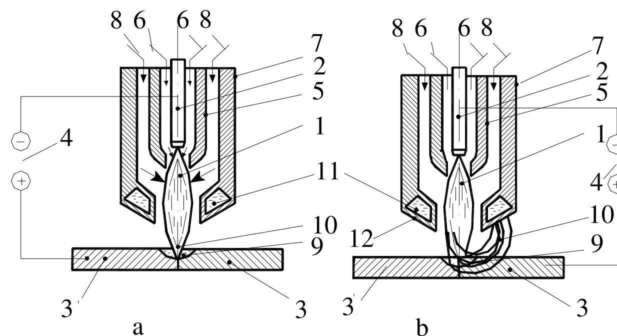


Fig. 6.87. Schema de principiu a sudării cu plasmă:
a – cu jet de plasmă; b – cu arc de plasmă: 1 – arc electric; 2 – electrod de wolfram; 3; 3′ - metale de bază; 4 – sursa de curent; 5; 7 – ajutaje; 6; 8 – gaze plasmagene; 9 – baia de sudură; 10 – arcul de plasmă şi respectiv jetul de plasmă; 11 – sistem de răcire; 12 – duză specială .

- *generatoare cu arc de plasmă* (fig. 6.87. a) la care arcul electric 1 se formează între un electrod de wolfram 2 şi piesa de sudat 3, conectate la o sursă de curent continuu cu polaritate directă. Prin ajutajul 5 se introduce gazul plasmagen 6, iar prin ajutajul 7 se introduce gazul plasmagen 8, care realizează o constrângere axială şi respectiv radială a arcului electric, rezultând *arcul de plasmă* 10 (generatoare cu arc transferat sau cu arc direct). Arcul de plasmă dezvoltă

temperaturi mari (peste 15 000 K), cantități mari de căldură, viteze mari de expulzare a gazelor, condiții suficiente pentru a topi o parte din materialele de bază 3 şi 3′, formând baia de sudură 9. Ajutajul este în permanență răcit folosind sistemul de răcire 11.

- *generatoare cu jet de plasmă* (fig. 6.87. b) la care arcul electric 1 se formează şi arde între electrodul de wolfram 2 şi ajutajul special 12, conectate la o sursă de curent continuu, cu polaritate directă, independent de piesele de sudat. Introducerea gazelor plasmagene 6 şi 8 prin ajutajele 5 şi 7 conduce la realizarea *jetului de plasmă* 10. În acest caz generatorul este cu arc netransferat sau cu *arc indirect.* Duza este în permanență răcită folosind sistemul de răcire 11.

Plasma prezintă următoarele proprietăți specifice:

- este bună conducătoare de electricitate, conductibilitatea ei fiind apropiată de cea a metalelor;
- se supune acțiunii câmpurilor electrice și magnetice;
- având un grad înalt de disociere şi ionizare, dezvoltă temperaturi foarte mari;
- jetul de plasmă este puternic strangulat mecanic şi electromagnetic datorită introducerii gazelor plasmagene.

Gazele plasmagene utilizate influențează atât generatorul de plasmă, cât şi procesul de sudare. Favorabile pentru protecția generatorului cât şi a băii de sudură sunt gazele inerte, argonul şi heliul. Ele sunt gaze monoatomice cu tensiune de ionizare ridicată (Ar−15,8V; He−24,6V).

La aceste gaze, în jurul arcului sau jetului de plasmă, datorită temperaturii ridicate are loc ionizarea gazului după reacția:



$$\mathrm{Ar} \rightarrow \mathrm{Ar}^{+} + e^{-} - Q \qquad (6.61)$$

În vecinătatea băii de sudură, datorită temperaturii mai scăzute are loc deionizarea gazului după reacția:



$$\mathrm{Ar}^{+} + e^{-} \rightarrow \mathrm{Ar} + Q \qquad (6.62)$$

cu cedarea căldurii Q, absorbită la ionizare.

Deci, la gazele inerte, monoatomice, transferul de căldură are loc numai în baza reacției de *ionizare – deionizare*.

Gazele biatomice, azotul şi hidrogenul, au tensiuni de ionizare foarte mici, deci, vor transfera o cantitate de căldură mai mică în baza reacției de ionizare – deionizare. Aceste gaze sunt mai ieftine, dar nu asigură o protecție completă.

6.7.8.2. Particularități ale sudării cu plasmă

Pentru sudarea materialelor se utilizează jetul de plasmă şi cusătura se obține prin topirea unui material de adaos sau fără material de adaos. Experimental s-a constatat că mărirea debitului de gaz plasmagen peste o anumită limită conduce

la îndepărtarea băii de metal topit, fenomen caracteristic tăierii cu plasmă. Scăderea debitului de gaz conduce la apariția unui arc electric secundar, concomitent cu deplasarea petei catodice şi o uzură.intensă atât a electrodului, cât şi a ajutajului.

Echipamentele pentru sudarea cu plasmă au în alcătuirea lor următoarele componente:

- generatorul de plasmă (partea cea mai importantă a instalației);
- sursa de curent;
- instalația de comandă şi răcire;
- căruciorul sau dispozitivul de transport, pentru sudarea automată.

Tehnologia de sudare cu plasmă a metalelor şi aliajelor este asemănătoare cu cea de la procedeul WIG, cu avantajele create de o viteză de sudare mai mare, grosimi mai mari ale pieselor sudate şi o pregătire a marginilor pieselor mult mai puțin pretențioasă.

De asemenea, tehnica execuției unui cordon de sudură se aseamănă cu cea de la procedeul WIG, stabilindu-se următorii parametri ai regimului de sudare:

- *intensitatea curentului electric al plasmei* I_p, ce se alege ținând cont de construcția şi puterea generatorului, secțiunea cusăturii sudate, grosimea pieselor de sudat şi natura materialului de sudat;

- *tensiunea jetului de plasmă* U_a, ce depinde de natura gazelor plasmagene, fiind mai mare la gazele biatomice, şi creşte proporțional cu tensiunea de ionizare a gazului şi debitul de gaze plasmagene;

- *gazul sau amestecul de gaze plasmagene,* ce se alege ținând cont de influența lui atât asupra generatorului, cât şi asupra băii de sudat. De obicei, se folosesc la sudare gaze monoatomice (Ar , He) sau amestec de gaze monoatomice cu biatomice;

- *debitul de gaz sau de gaze D,* ce se alege în funcție de natura materialului de sudat, tipul plasmatronului şi grosimea pieselor de sudat ;

- *viteza de sudare* v_s, ce se calculează pe baza bilanțului energetic al procesului de sudare folosind o relație de forma:

$$v_s = \frac{U_a \cdot I_p}{b \cdot s \cdot c \cdot \gamma \cdot v_t} \cdot \eta \quad , \tag{6.64}$$

în care b este lățimea cusăturii; s - grosimea materialului de bază; c - căldura specifică; γ - masa specifică; v_t - viteza de topire a materialului de bază; η - randamentul jetului de plasmă.

- *poziționarea generatorului față de materialul de sudat,* ce se face în funcție de tipul îmbinării, tipul plasmatronului şi poziția îmbinării sudate.

Se pot suda cu plasmă toate materialele sudabile în medii de gaze protectoare cu electrod nefuzibil (WIG) şi grosimi mai mari, însă într-un timp de execuție mai scurt şi cu pretenții mai mici legate de pregătirea marginilor pieselor de sudat.

Pentru sudarea piselor de grosimi foarte mici se utilizează plasmă obținută în domeniul curenților foarte mici (I_p = 0,2….10,0A), numită *microplasmă*. Arcul este constrâns, în acest caz, să treacă prin duze cu diametrul foarte mic (∅ < 0,8 mm), folosindu-se ca gaz plasmagen, argonul sau heliul. Arcul de microplasmă are sensibilitate redusă la variațiile spațiului dintre duza şi piesă. Se aplică la sudarea oțelurilor inoxidabile, nichelului, titanului şi a aliajelor acestora cu grosimi de 0,01…0,2 mm.

6.8. SUDAREA PRIN TOPIRE CU ENERGIE CHIMICĂ

Procedeele de sudare prin topire cu energie chimică au la bază procese chimice în urma cărora se dezvoltă cantități mari de căldură în volume mici. Dintre aceste procedee o foarte largă răspândire o au: *sudarea cu flacară de gaze* şi *sudarea cu termit.*

6.8.1 Sudarea cu flacără de gaze

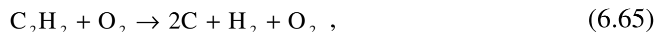
Sudarea cu flacară de gaze este un procedeu de sudare care utilizează energia termo–chimică a unei flăcări oxigaz pentru încălzirea locală, până la topire, a marginilor pieselor de îmbinat şi a materialului de adaos şi umplerea rostului îmbinării cu materialul de adaos care se aliază cu materialul de bază.

6.8.1.1. Flacăra de sudare oxiacetilenică

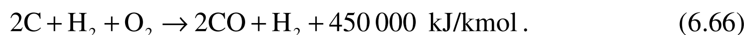
Se formează prin aprinderea şi arderea unui amestec gazos, format dintr-un gaz combustibil şi oxigenul, la ieşirea dintr-un arzător. Se pot folosi ca gaze combustibile: acetilena, hidrogenul, gazele naturale, gazele petroliere lichefiate, benzenul, gazul de cocserie etc. Dar cel mai indicat pentru sudare este *acetilena*, deoarece are o putere calorică mare şi temperatura de ardere în oxigen este de aproximativ 3 150 °C.

În condițiile unei arderi normale flacăra oxiacetilenică prezintă următoarele zone distincte (fig.6.88. a):

- *nucleul luminos* 1, în care se desfăşoară disocierea acetilenei şi arderea carbonului după reacțiile:



$$C_2H_2 + O_2 \rightarrow 2C + H_2 + O_2 \ , \tag{6.65}$$



$$2C + H_2 + O_2 \rightarrow 2CO + H_2 + 450\,000 \ \text{kJ/kmol}. \tag{6.66}$$

Nucleul luminos are o formă cilindrică şi este înconjurat la exterior de un strat de carbon liber, incandescent care-i conferă o luminiozitate puternică;

- *flacăra primară* 2, de formă conică, îmbrăcând nucleul luminos, este

transparentă şi constituie sediul reacției de ardere primară, cu formarea oxidului de carbon şi degajarea unei mari cantități de caldură după reacția (6.66).

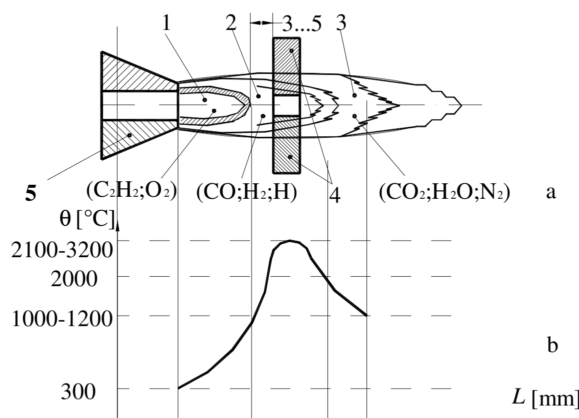
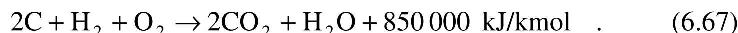


Fig. 6.88. Flacăra oxiacetilenică:
a - zonele flăcării ; b - variația temperaturii θ pe lungimea flăcării *L*; 1 – nucleul luminos; 2 - flacăra primară (zona reducătoare); 3 – flacăra secundară; 4 – metalele de sudat; 5 – arzătorul.

- *flacăra secundară* 3 (de împrăştiere) corespunde arderii complete a compuşilor formați în zona anterioară (reducătoare), folosind oxigenul din mediul înconjurător.Aici se petrece reacția:



$$2C + H_2 + O_2 \rightarrow 2CO_2 + H_2O + 850\,000 \text{ kJ/kmol} \quad . \qquad (6.67)$$

Vaporii de apă şi gazele rezultate în urma arderii complete (CO_2) îi conferă o anumită luminozitate şi o temperatură mai scăzută decât flacăra primară.

Din punct de vedere practic, flacăra oxiacetilenică este caracterizată prin *formă, structură, temperatură, compoziție chimică* şi *proprietăți.*

Structura şi forma flăcării depinde de raportul volumetric *k*, al componentelor amestecului gazos dat de relația:

$$k = \frac{V_{O_2}}{V_{C_2H_2}} \quad , \qquad (6.68)$$

în care V_{O_2} este volumul de oxigen; $V_{C_2H_2}$ este volumul de acetilenă. În funcție de valorile lui *k* se disting următoarele tipuri de flacară oxiacetilenică (fig . 6.89) .

- *flacară oxidantă* (fig. 6.89. a), unde *k* = 1,2…1,5, în nucleu şi în flacăra primară predomină oxigenul, flacăra este redusă ca dimensiuni, arde zgomotos şi este violetă pe un fond albastru. Se utilizează doar pentru sudarea alamelor;

- *flacăra normală* (fig. 6.89. b) sau *neutră*, când *k* = 1,1…1,2, are zonele perfect delimitate, arde linştit, forma structura şi nuanțele sunt constante. Se obține

la o presiune a acetilenei de maximum $1,5\times10^5$ Pa, iar a oxigenului de maximum 5×10^5 Pa. Se utilizează la sudarea metalelor feroase şi neferoase (Al, Cu, Zn, Ni etc.) şi a aliajelor lor datorită caracterului reducător şi temperaturii înalte;

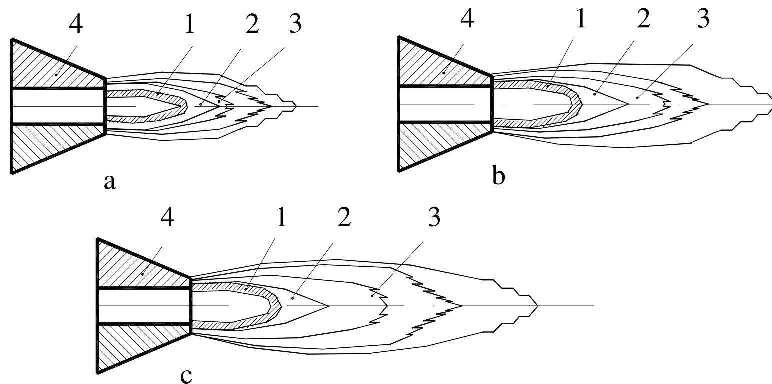


Fig. 6.89. Tipuri de flacără oxiacetilenică:
a – oxidantă (k = 1,2…1,5); b – neutră (k = 1,1…1,2); c – carburantă (k = 0,7…1,0).

- *flacăra carburantă*, când k = 0,7…1,0, zonele flăcării se întrepătrund, flacăra este deformată, lungă, de culoare roşietică, o parte din carbon nu se mai oxidează, astfel că el apare liber sub formă de funingine. Se utilizează pentru sudarea aluminiului, fontelor şi la încărcarea prin sudare.

O flacără de gaze poate fi apreciată după următoarele mărimi caracteristice:

- *puterea calorică* Q_p, dată de cantitatea de căldură rezultată în urma arderii complete a unei unităţi volumice de combustibil;

- *puterea termică* P_t, dată de cantitatea totală de căldură dezvoltată în unitatea de timp şi se calculează cu relaţia:

$$P_t = D \cdot Qp \ , \qquad (6.69)$$

în care D este debitul de gaze, în l/h;

- *puterea efectivă* P_e, dată de cantitatea de căldură transmisă obiectului de încălzit în unitate de timp şi se calculează cu relaţia:

$$P_e = D \cdot Q_p \cdot \eta \ , \qquad (6.70)$$

în care η este randamentul termic al flăcării.

O caracteristică importantă este şi temperatura, care depinde de compoziţia amestecului gazos, fiind maximă pentru k = 1,1...1,3. Ea variază în lungul flăcării (fig.6.88), fiind maximă (3 110…3 200°C) la distanţa de 3,0…5,0 mm faţă de nucleul luminos (de aceea piesele de sudat se plasează intotdeauna în această

zonă). Randamentul termic al flăcării este foarte redus, η = 0,08…0,11, datorită dispersiei pronunțate a căldurii flăcări.

6.8.1.2. Utilajul folosit la sudarea cu flacără de gaze

În dotarea unui post de sudare cu flacără oxiacetilenică intră toate utilajele şi materialele necesare execuției unui cordon de sudură prin acest procedeu şi anume:

- un generator de acetilenă cu supapă de siguranță sau o butelie de acetilenă cu reductor de presiune;
- epuratorul sau filtrul chimic;
- butelia de oxigen cu reductorul de presiune ;
- trusă pentru sudare;
- furtune pentru conducerea celor două gaze (roşu, pentru CH_2 şi albastru, pentru O_2);
- accesorii diverse (ciocan, perii de sârmă, echere etc.);

1 - *Generatorele de acetilenă* sunt aparate în care se prepară acetilena prin descompunerea carbidului în apă după reacția:



$$CaC_2 + 2H_2O \rightarrow C_2H_2 + C_a(OH)_2 + 30{,}4\ \text{kcal} \quad . \qquad (6.71)$$

Generatoarele de acetilenă se construiesc într-o gamă foarte largă de modele şi caracteristici (fig. 6.90).

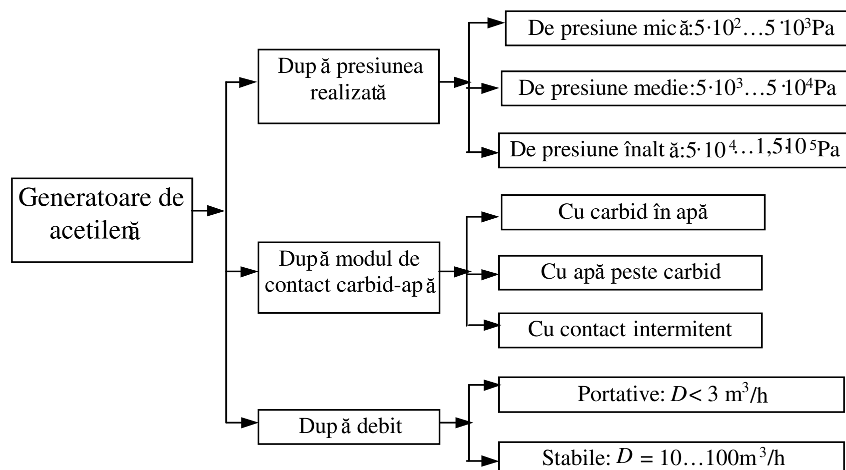


Fig. 6.90. Clasificarea generatoarelor de acetilenă după diferite criterii.

Schema de principiu a unui generator de acetilenă, cu conctactul carbidului în apă cu largă utilizare, se prezintă în fig.6.91. După contactul dintre carbidul 1,

existent în coşul 2, cu apa 3, din rezervorul 4, se produce acetilena 5 care se acumulează în clopotul 6. Crescând presiunea acetilenei în clopot, apa va fi împinsă în partea superioară 7, a rezervorului 4, întrerupând contactul carbid-apă. Când se manevrează robinetul 8 se deschide conducta 9 şi acetilena va trece prin epuratorul chimic 10, supapa de siguranţă 11, spre arzatorul 12. Dacă consumul de acetilenă este mic sau dacă robinetul 13 este închis, acetilena formată se acumlează sub clopot şi menţine apa în partea superioară a rezervorului. Dacă se deschide robinetul 13, pe măsură ce acetilena este consumată, apa, datorită presiunii hidrostatice, pătrunde din nou sub clopot şi reia contactul cu carbidul reîncepând procesul de degajare a acetilenei. Este necesar ca după fiecare 2-3 zile de funcţionare, coşul de carbid şi vasul de reziduuri 14, să fie spălate, iar epuratorul şi supapa de siguranţă să fie curaţate şi controlate periodic. Generatorul debitează 1,25 m^3/h acetilenă la presiunea de 0,1…0,3.10^5 Pa.

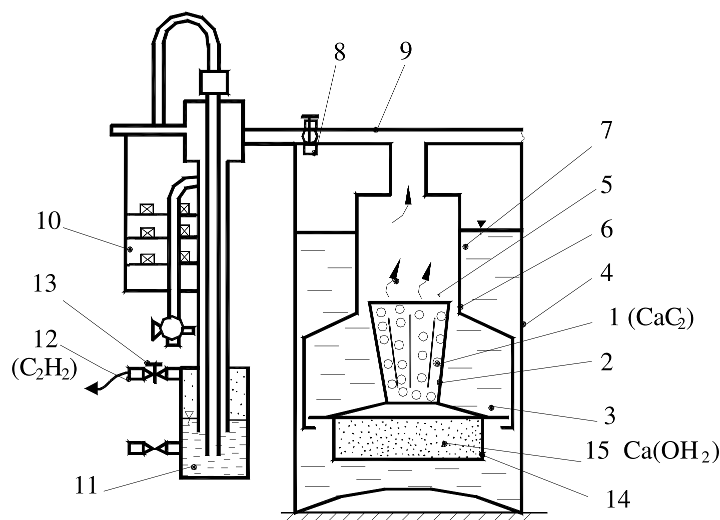


Fig. 6.91. Schema de principiu a unui generator de acetilenă:
1 – carbid; 2 – coş; 3 – apă; 4 – rezervor; 5 – acetilenă; 6 – clopot; 7 – apă acumulată; 8 – robinet; 9 – conductă; 10 – epurator chimic; 11 – supapă hidraulică de siguranţă; 12 – arzător; 13 – robinet; 14 – vas de reziduuri; 15 – reziduuri.

2 - *Supapele de siguranţă* au rolul de a opri întoarcerea flăcării de la arzător la generator şi evacuarea undei de şoc în atmosferă. Întoarcerea are loc în următoarele cazuri:

- când viteza amestecului de gaze din arzător este mai mică decât viteza de ardere;
- când distanţa dintre becul arzătorului şi metalul de sudat este prea mică;
- când orificiul becului este astupat de stropi metalici.

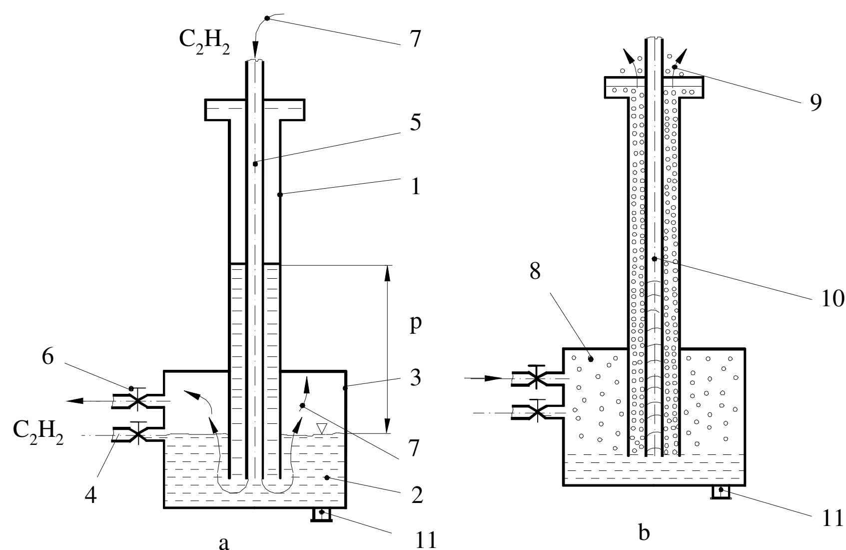


Fig. 6.92. Construcția şi funcționarea supapei hidraulice de siguranță:
1 – țevă de siguranță; 2 – pernă de apă; 3 – supapă; 4 – robinet de control; 5 – țevă de admisie; 6 – robinet de deschidere; 7 – acetilenă; 8 – gaze arse; 9 – gaze şi vapori de apă; 10 – apă în țeava de admisie; 11 – dop de golire a apei.

Supapele de siguranță pot fi uscate sau hidraulice, de presiune mică, medie şi înaltă, la fel ca şi generatoarele de acetilenă. Cel mai des întrebuințate sunt *supapele hidraulice de siguranță* (fig.6.92). Prin țeava de siguranță 1 este introdusă apa 2, în supapa de siguranță 3 (fig.6.92. a), până la nivelul robinetului de control 4. În funcționare normală, acetilena intră în supapă prin țeava de admisie 5, trece prin perna de apă 2 spre robinetul de dirijare 6, către arzător. Presiunea acetilenei este indicată de diferența *p*, dintre nivelul apei din țeava de siguranță şi nivelul apei din supapă. În cazul întoarcerii flăcării (fig.6.92. b), acetilena 7 din supapă arde, rezultând gazele 8 cu presiune şi temperatură mare. Aceste gaze evacuează apa din supapă în țeava de admisie şi în țeava de siguranță, până la stabilirea comunicației cu atmosfera 9. Apa10, din țeava de admisie împiedică pătrunderea flăcării în generator şi reduce şocul undei de explozie.

3 - *Buteliile de acetilenă şi oxigen* se compun dintr-un corp 1 (fig.6.93), confecționat din oțel aliat, suportul 2, robinetul cu ventil 3, inelul de oprire 4, capacul 5 şi garniturile de cauciuc 6 şi 7. Buteliile de acetilenă au în interior o masă poroasă 8 şi acetonă 9, în care acetilena se dizolvă sub presiune. Masa poroasă evită producerea exploziei acetilenei şi favorizează dizolvarea acesteia în acetonă (o butelie cu capacitatea de 40 litri conține, la presiune de $14{,}7\times10^5$ Pa, aproximativ 5 500 l acetilenă dizolvată în acetonă). Preluarea acetilenei din butelie se face cu un robinet cu ventil de o construcție specială cu jug.

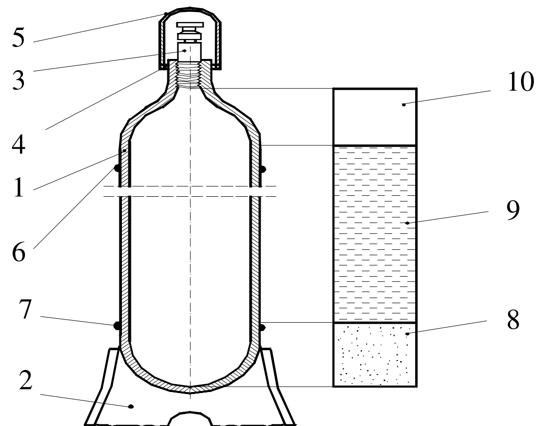


Fig. 6.93. Butelia de acetilenă:
1 – corp; 2 – suport; 3 – robinet cu ventil; 4 – inel de oprire; 5 – capac; 6 ; 7 – garnituri; 8 – masă poroasă; 9 – acetonă; 10 – spațiu de siguranță pentru degazare.

Buteliile de oxigen au capacitate de 40 l şi sunt încărcate cu oxigen la presiunea de 147×10^5 Pa, conținând aproximativ 6 000 l oxigen.

4 - *Reductoarele de presiune pentru oxigen şi acetilenă* au rolul de a reduce presiunea gazului din butelii la valoarea necesară sudării (pentru oxigen – $2,5\times10^5$Pa, iar pentru acetilenă 0,01 …$0,5\times10^5$Pa) şi de a menține constantă această presiune în tot timpul sudării, independent de valoarea presiunii din butelii.Reductoarele de presiune funcționează pe principiul acțiunii a două forțe opuse; pe de o parte, presiunea unui arc de închidere a admisiei gazului, iar, pe de altă parte, presiunea unei membrane care tinde să deschidă admisia gazului.

Reductorul pentru oxigen (fig. 6.94) se înşurubează la robinetul cu ventil al buteliei prin intermediul piuliței de racordare 1, cu filet pe dreapta, având următoarele funcții:

- *de reducere a presiunii*, funcție realizată în felul următor: se roteşte şurubul de reglare 2, până când manometrul de joasă presiune 3 indică presiunea cerută la locul de sudare. Şurubul de reglare tensionează arcul 4, şi prin intermediul membranei elastice 5 şi a cuiului împingător 6 ridică supapa 7, de pe scaunul ei 8. Oxigenul trece din camera de înaltă presiune 9, prevăzută cu manometrul de înaltă presiune 10, în camera de joasă presiune 11, prevăzută cu manometrul de joasă presiune 3, când gazul se destinde şi presiunea scade. Când robinetul 12 este deschis, oxigenul din camera de joasă presiune trece prin ajutajul 13, la arzătorul pentru sudare. Atunci când reductorul nu funcționează, arcul 14 menține supapa pe scaunul ei;

- *de menținere constantă a presiunii*, funcție realizată fără intervenția sudorului, astfel: dacă debitul de oxigen, necesar sudării, este mai mic atunci presiunea din camera de joasă presiune, tinde să crească şi forța exercitată de

presiunea oxigenului asupra membranei creşte. Membrana se curbează în jos şi o dată cu ea coboară cuiul împingător şi respectiv supapa, micşorându-se secțiunea de trecere a oxigenului din camera de înaltă presiune în camera de joasă presiune. Când debitul de oxigen, necesar sudării, este mai mare, fenomenul este invers celui descris mai sus şi în acest mod reductorul asigură o presiune constantă, reglată de la început în tot timpul sudării.

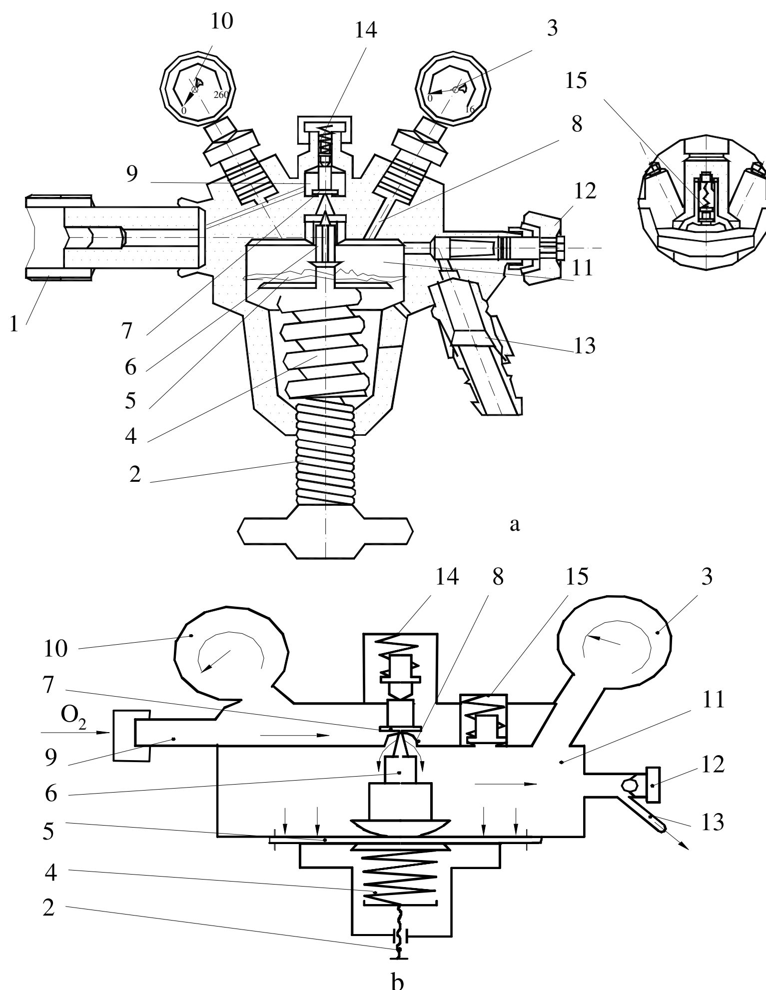


Fig. 6.94. Construcția şi funcționarea reductorului de presiune:
a – în secțiune; b- schema de principiu; 1 – piuliță de racordare; 2 – şurub de reglare; 3 – manometru de joasă presiune; 4 – arc; 5 – membrană elastică; 6 – cui împingător; 7 – supapă;8 – scaunul supapei; 9 – camera de înaltă presiune; 10 – manometru de înaltă presiune; 11 – camera de joasă presiune; 12 – robinet de deschidere-închidere; 13 – ajutaj;14 – arc; 15 – supapă de siguranță.

Pentru a preveni spargerea membranei elastice sau a corpului reductorului, la creşterea presiunii peste limitele admisibile, acesta este prevăzut cu o supapă de siguranţă 15.

Reductorul pentru acetilenă se deosebeşte de reductorul pentru oxigen prin modul de racordare la butelie (racordarea făcându-se cu ajutorul unei bride) şi prin culoarea vopselei de protecţie (albastru – pentru oxigen, galbenă – pentru acetilenă).

5 - *Trusa pentru sudarea şi tăierea cu flacără oxiacetilenică* este standardizată şi conţine (fig. 6.95) arzătoarele pentru sudare 1, mânerul 2, aparatul de tăiere 3, căruciorul pentru aparatul de tăiere 4, suportul pentru tăierea circulară 5, becurile pentru aparatul de tăiere 6 şi 7, injectoarele 8, becurile pentru arzătoare 9, piuliţele olandeze 10, niplurile racord 11, calibrele 12 şi cheia fixă multiplă 13. Arzătorul pentru sudare este aparatul în care se face amestecul acetilenei cu oxigenul şi la extremitatea căruia are loc ieşirea şi arderea amestecului de gaz. El trebuie să asigure un amestec omogen de gaze, reglare uşoară şi precisă şi menţinerea unei flăcări stabile.

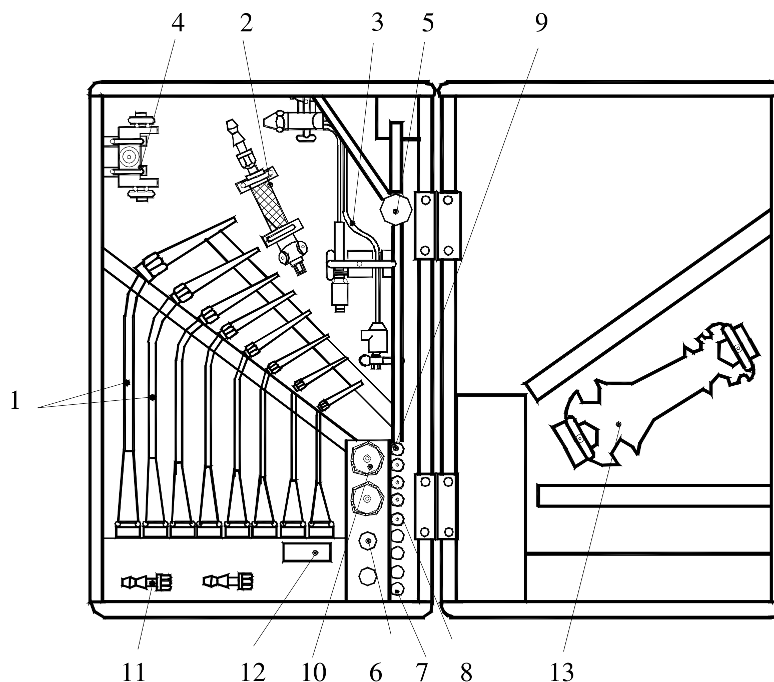


Fig. 6.95. Componentele trusei de sudare şi tăiere cu flacără oxiacetilenică:
1 – arzătoare; 2 – mâner; 3 – aparat de tăiere; 4 – cărucior; 5 – compas; 6 ; 7 – becuri pentru tăiere; 8 – injectoare; 9 – becuri pentru sudare; 10 – piuliţe olandeze; 11 – nipluri de legătură; 12 – calibre; 13 – cheie fixă multiplă.

Un arzător (fig. 6.96) se compune din becul pentru sudare 1, racordul becului 2, țeava pentru amestec 3, camera de amestec 4 şi arzătorul 5. Arzătorul se asamblează cu ajutorul unei piulițe olandeze 6 la mânerul 7, prevăzut cu niplul pentru oxigen 8, niplul pentru acetilenă 9, robinetul pentru oxigen 10 şi robinetul pentru acetilenă 11. Injectoarele, camerele de amestec şi becurile se execută în 8 mărimi (0, 1, 2 …7) în funcție de grosimea materialelor ce se sudează.

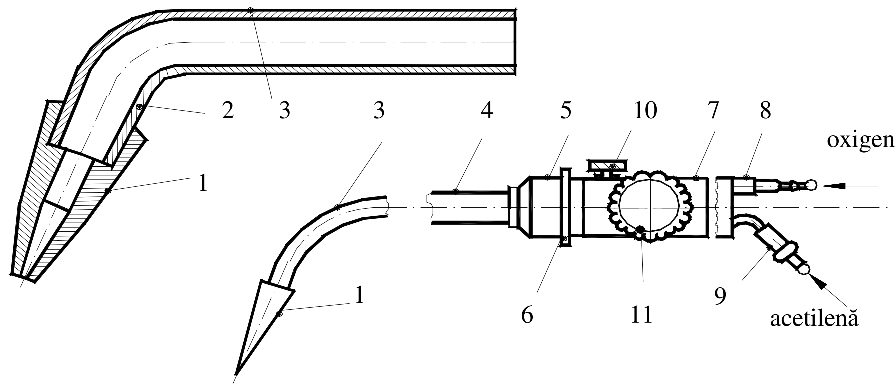


Fig. 6.96. Arzătorul cu injector pentru sudare:
1 – bec de sudure; 2 – racordul becului; 3 – țeava pentru amestec; 4 – camera de amestec; 5 – arzător; 6 – piuliță olandeză; 7 – mâner; 8 – niplul pentru oxigen; 9 – niplu pentru acetilenă; 10 ;11 – robinete pentru oxigen respectiv pentru acetilenă.

6 - *Tuburile de cauciuc pentru conducerea gazelor şi accesorii.* Tuburile pentru gaze sunt cu inserții de pânză pentru a rezista presiunilor înalte la care sunt supuse în timpul exploatării. Accesoriile necesare sudorului sunt: ochelarii de protecție, perii din sârmă de oțel şi ciocane din oțel pentru curățirea pieselor sudate, ace şi perii din sărmă de alamă pentru curățirea becurilor, şorțuri, mănuşi şi jambiere sau ghete de protecție.

6.8.1.3. Tehnologia sudării manuale prin topire cu flăcără de gaze

Pentru realizarea unei cusături sudate prin acest procedeu trebuie parcurse următoarele etape:

1 - *Analiza materialului de bază* se face ținând cont de natura, structura, compoziția chimică şi starea de livrare a acestuia. Se ține cont de faptul că la oțelurile carbon şi oțelurile slab aliate este posibil să apară arderea carbonului, formarea porilor şi structura Widmannstatten. La oțelurile înalt aliate dificultățile care apar sunt legate de arderea elementelor de aliere, conductibilitatea termică redusă, posibilitățile de călire în zona influențată termic şi tendința de fragilizare şi fisurare. La sudarea fontelor trebuie create toate condițiile în vederea grafitizării,

respectiv scăderea durităţii şi înlăturarea cauzelor ce conduc la apariţia fisurilor şi crăpăturilor. Sudarea metalelor şi aliajelor neferoase (cuprul şi aliajele sale, aluminiul şi aliajele sale etc) este posibilă dacă se ţine cont de problemele legate de conductibilitatea termică ridicată, formarea oxizilor de cupru sau de aluminiu care înrăutăţesc calitatea îmbinării sudate, absorbţia mare de gaze şi apariţia de structuri grosolane cu proprietăţi fizico – mecanice slabe;

2 - *Analiza materialului de adaos* se face în mod analog ca la sudarea prin topire cu arc electric, pentru a vedea compatibilitatea cu materialul de bază. Materialul de adaos este de obicei sub formă de sârmă electrod neînvelită, elaborată în baghete sau vergele. Sârmele folosite la sudare trebuie să aibă o elaborare îngrijită mai ales în privinţa compoziţiei chimice, să aibă suprafaţa curată, fără rugină sau ulei. Conţinutul de sulf şi fosfor trebuie să fie minim;

3 - *Pregătirea rostului îmbinării* constă în prelucrarea şi curăţirea marginilor pieselor de îmbinat, asamblarea piesei într-o poziţie reciprocă corectă şi păsuirea asamblării respective, în concordanţă cu tipul de rost, preîncălzirea pieselor (dacă este cazul), precum şi deformarea prealabilă a acesteia în vederea compensării eventualelor deformaţii ce au rezultat în urma procesului de sudare. Marginile pieselor de sudat trebuie curăţite, până la luciu metalic, de oxizi, ulei, grăsimi etc. (prin metode mecanice sau chimice). Prelucrarea marginilor pieselor de sudat se execută în scopul asigurării pătrunderii complete a sudurii pe întreaga grosime a piesei (prelucrarea se face prin rabotare, polizare, frezare sau prin tăiere oxi-gaz sau crăiţuire arc – aer). Forma şi dimensiunile rostului sunt standardizate şi se aleg în funcţie de grosimea pieselor de sudat şi tipul îmbinării (fig. 6.97).

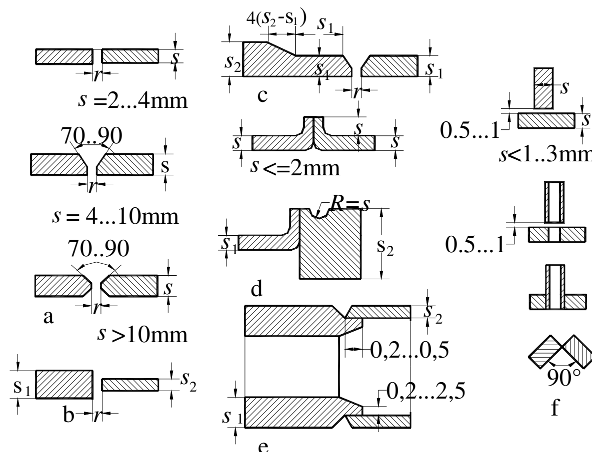


Fig. 6.97. Pregătirea rostului îmbinării: a – pentru suduri cap la cap; b; c – pentru suduri cap la cap de grosimi diferite; d – pentru suduri cu marginile răsfrânte; e – pentru suduri cap la cap produse tubulare; f – pentru suduri de colţ.

4 - *Controlul iniţial al pieselor de sudat* are drept scop depistarea eventualelor defecte existente ca urmare a proceselor de semifabricare. Se face un control optico–vizual şi un control nedistructiv (cu radiaţii penetrante, lichide

penetrante, ultrasunete, emisie acustică, curenți turbionari, pulberi magnetice etc.)

5 - *Alegerea metodei de sudare* se face în scopul utilizării la maximum a căldurii flăcării oxiacetilenice, reducerii la minimum a pierderilor de căldură şi a consumului de gaze, realizării unei productivități maxime şi a unei economii de material. Se utilizează în acest scop două metode de sudare:

- *sudarea spre stânga (înainte),* care se aplică tablelor subțiri cu grosimea până la 5 … 7 mm (fig. 6.98. a), la care arzătorul 1, ținut în mâna dreaptă, este condus cu oscilații transversale, spre stânga, totdeauna înaintea sudurii efectuate, cu viteză uniformă. Cu sârma 2 (materialul de adaos), ținută în mâna stângă, se execută o mişcare oscilatorie înaintea becului arzătorului 3. Flacăra oxiacetilenică este îndreptată spre rostul de sudat 4, ale cărei margini le topeşte, în final rezultând cusătura sudată 5;

- *sudarea spre dreapta (înapoi),* care se aplică tablelor mai groase (fig. 6.98. b), la care cu arzătorul 1, ținut în mâna dreaptă, se execută o mişcare rectilinie spre dreapta, iar cu sârma de adaos 2 se execută o mişcare oscilatorie în urma becului de sudare 3. Flacăra oxiacetilenică este îndreptată permanent spre sudura realizată 5. Din această cauză marginile rostului 4 se topesc mai repede şi productivitatea este cu 25% mai mare decât la sudarea spre stânga.

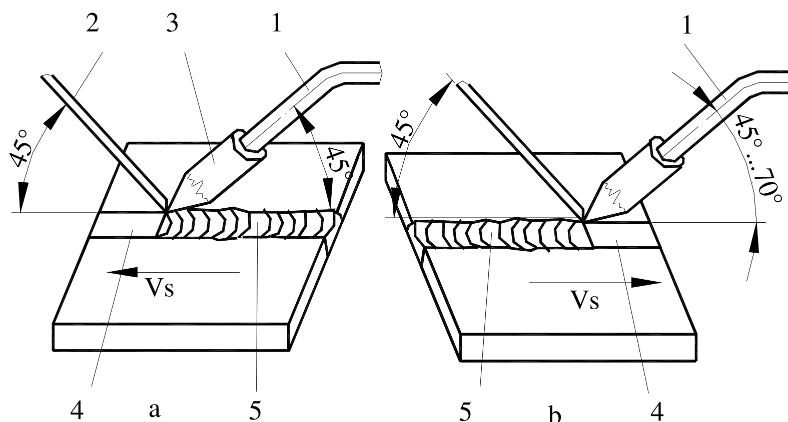


Fig. 6.98. Metode de sudare:
a – sudarea spre stânga (înainte); b – sudarea spre dreapta (înapoi): 1 – arzător; 2 – metal de adaos; 3 – bec de sudare; 4 – rost; 5 – îmbinarea sudată.

6 - *Sudarea propriu-zisă* se realizează după ce piesele au fost pregătite corespunzător şi s-a realizat rostul îmbinării conform cu grosimea pieselor de îmbinat şi cu tipul îmbinării. După ce s-a ales becul de sudare se aprinde flacăra şi se reglează. Modul operator la acest procedeu se referă la deplasarea arzătorului şi metalului de adaos în timpul procesului de sudare. Acestea se deplasează în lungul axei rostului şi execută mişcări transversale pe axa rostului, în vederea repartizării

căldurii şi a metalului de adaos pe cele trei componente ale rostului. Mişcările metalului de adaos şi ale arzătorului sunt în opoziție, traiectoriile lor fiind funcție de grosimea pieselor de sudat (fig. 6.99.) Arzătorul se ține înclinat față de suprafața de sudat la un unghi ce depinde de grosimea pieselor de sudat (fig. 6.100).

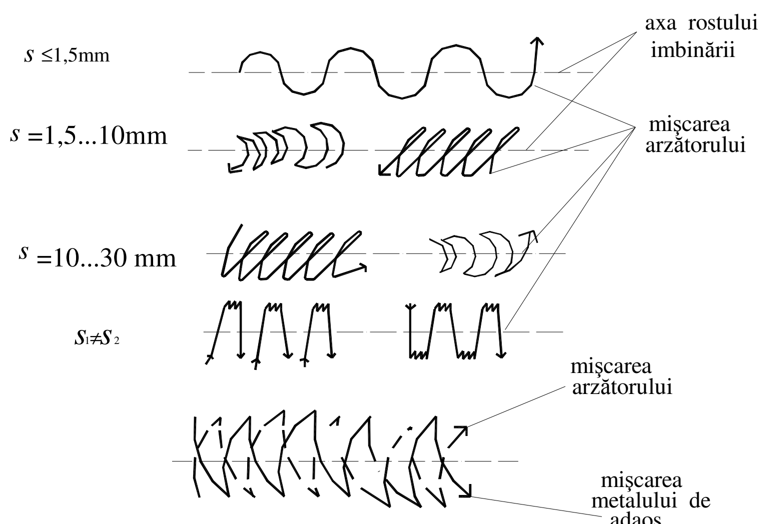


Fig. 6.99. Mişcările transversale ale arzătorului față de suprafața pieselor de sudat în funcție de grosime.

La realizarea unor sudurii cap la cap pe verticală, deplasarea arzătorului şi a metalului de adaos se face de jos în sus, fiind similare metodei de sudare spre stânga.

Pentru o utilizare eficientă a căldurii, sudura se poate realiza de către doi sudori dispuşi de o parte şi de altă a rostului (în acest caz se pot suda şi table cu grosimi mai mari de 12mm). Pentru sudarea cu flacără de gaze se vor respecta următoarele reguli:

- pentru aprinderea flăcării se deschide mai întâi robinetul de oxigen şi apoi cel de acetilenă;
- la terminarea operației de sudare se opreşte mai întâi acetilena şi apoi oxigenul;
- dacă becul arzător s-a încălzit sau dacă s-a produs o întoarcere a flăcării se închide robinetul de acetilenă şi se răceşte becul într-un vas cu apă.

7 - *Stabilirea parametrilor regimului de sudare* presupune cunoaşterea şi alegerea următoarelor elemente:

- *sârma de adaos* care determină compoziția chimică a cusăturii şi se alege în funcție de compoziția chimică a metalului de bază. Trebuie să îndeplinească următoarele condiții: compoziția chimică şi caracteristicile mecanice să fie identice

sau foarte apropiate de cele ale metalului de bază; să se topească uniform şi liniştit, fără pierderi prin stropi; temperatura de topire să fie aproximativ egală cu cea a metalului de bază; să fie netedă şi curată. Diametrul d_s al sârmei se alege în funcție de grosimea *s* a metalului de bază folosind relațiile:

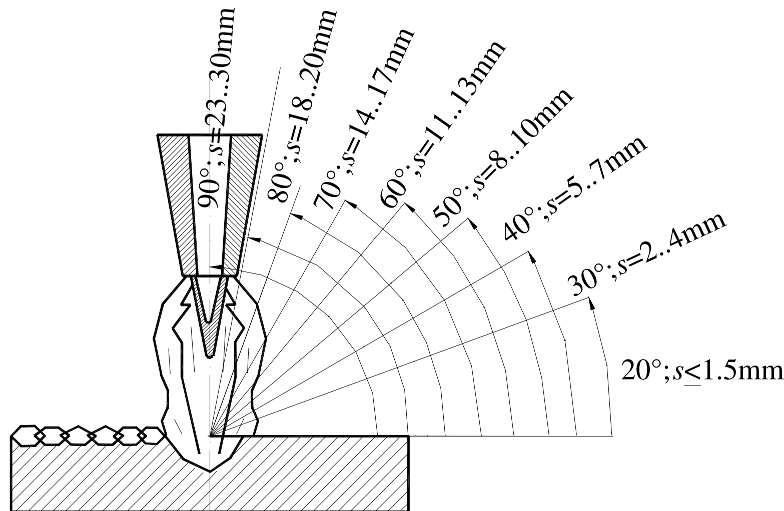


Fig. 6.100. Înclinarea arzătorului față de suprafața pieselor de sudat în funcție de grosime.

$$d_s = (0{,}5\ldots0{,}25)s \quad [\text{mm}] \ , \tag{6.72}$$

sau

$$d_s = (1{,}2\ldots1{,}5)\sqrt{s} \quad [\text{mm}] \ . \tag{6.73}$$

La sudarea oțelurilor de construcții se folosesc sârme din oțel moale cu mai puțin de 0,1%C, la sudarea oțelurilor cu conținut mare de carbon se folosesc sârme cu 0,25 – 0,3% C.

La sudarea fontelor se folosesc bare turnate din fontă cu 3% C. La sudarea cuprului se folosesc vergele din aliaj de cupru, conținând fosfor ca dezoxidant şi argint (1,5…5%). La sudarea aluminiului se folosesc vergele de aluminiu conținând siliciu până la 5%.

- *fluxurile* care sunt substanțe ce se introduc în baia de sudură pentru dezoxidarea acesteia. Ele formează un strat de zgură la suprafața băii, care protejează metalul topit contra oxidării. Fluxurile se folosesc la sudarea oțelurilor aliate, a fontei şi metalelor neferoase, deoarece ele se oxidează puternic. Se recomandă ca fluxuri: boraxul, acidul boric, carbonatul de potasiu şi clorura de sodiu – pentru sudarea cuprului; boraxul, carbonatul de sodiu şi de potasiu – pentru

sudarea fontei; boraxul şi clorurile de sodiu, de potasiu şi litiu – pentru sudarea aluminiului şi aliajelor sale.

- *structura flăcării* care se reglează şi se alege în funcţie de natura metalului de bază. Pentru sudarea oţelurilor şi a cuprului se foloseşte flacăra reducătoare; pentru sudarea aluminiului, fontei şi oţelurilor cu conţinut ridicat de carbon se foloseşte flacăra carburantă, iar pentru sudarea alamei se foloseşte flacăra oxidantă.

- *puterea flăcării* care este dată de consumul de acetilenă $D_{C_2H_2}$ şi se alege în funcţie de grosimea pieselor de sudat, natura metalului de bază şi metoda de sudare. Se folosesc relaţiile:

$$D_{C_2H_2} = (100\ldots120)s \quad [l/h] \tag{6.74}$$

pentru sudarea spre stânga;

$$D_{C_2H_2} = 100s \quad [l/h] \tag{6.75}$$

pentru sudarea spre dreapta;

În funcţie de consumul de acetilenă se alege şi mărimea arzătorului respectiv (tab. 6.35). Cunoscându-se consumul de acetilenă se poate determina şi consumul de oxigen. De exemplu pentru flacăra reducătoare, consumul de oxigen D_{O_2} se determină cu relaţia:

$$D_{O_2} = 1.2\ D_{C_2H_2} \quad [l/h]. \tag{6.76}$$

În funcţie de consumul de oxigen se alege mărimea becului de sudare (tab. 6.35).

Tabelul 6.35. *Alegerea consumului de oxigen şi de acetilenă în funcţie de grosimea pieselor de sudat*

Numărul arzătorului (mărimea)	0	1	2	3	4	5	6	7
Consumul maxim de acetilenă [l/h]	74	150	300	500	750	1200	1700	2500
Consumul maxim de oxigen [l/h]	85	165	330	550	825	1320	1870	2750
Grosimea oţelului de sudat [mm]	0,5..1,0	1..2	2..4	4..6	6..9	9..14	14….20	20…30
Lungimea nucleului luminos [mm]	6	8	12	15	17	19	21	23
Presiunea oxigenului [$\times 10^5$Pa]	1,2..2	2..2,5	2..3	2,5..3	2,5..3	3..3,5	3..4	3..4
Presiunea acetilenei [Pa]	$1{,}5\cdot10^3$	$1{,}5\cdot10^3$	$1{,}5\cdot10^3$	$1{,}5\cdot10^3$	$1{,}5\cdot10^3$	$1{,}5\cdot10^3$	$1{,}5\cdot10^3$	$1{,}5\cdot10^3$

- *presiunea oxigenului și acetilenei* care se alege în funcție de grosimea pieselor de sudat și de mărimea becului (tab 6.35);

- *viteza de sudare* v_s, care se alege în funcție de grosimea pieselor de sudat, natura metalului de bază și metoda de sudare. În cazul oțelurilor se folosește relația:

$$v_s = \frac{K}{s} \quad [\text{m/h}] \ , \qquad (6.77)$$

în care K este un coeficient determinat experimental, având valorile: $K = 12$ pentru sudarea spre stânga și $K = 15$ pentru sudarea spre dreapta.

8 - *Stabilirea tratamentului termic* se face în funcție de natura metalului de bază, calitatea cerută a îmbinării sudate și mai ales solicitările și comportarea din timpul exploatării. Ca tratamente se folosesc preîncălzirea preoperatorie sau tratamentele postoperatorii (recoacerea de omogenizare, revenirea, îmbătrânirea, călirea etc.) stabilite de la caz la caz în funcție de gabaritul pieselor de sudat. Tratamentele se pot executa cu flacăra de sudare sau pe vetre special amenajate.

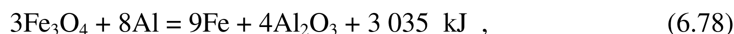
9 - *Controlul final* constă în depistarea eventualelor defecte care au apărut în îmbinarea sudată în urma procesului de sudare. Principalele defecte ce pot apărea la sudarea manuală prin topire cu flacără de gaze sunt: *nepătrunderea,* datorită fixării greșite a componentelor, puterii mici a arzătorului și vitezei mari de sudare; *crestăturile continue* sau *întrerupte,* datorită arzătorului de putere prea mare și vitezelor mici de sudare; *lipsa de topire,* datorită formei necorespunzătoare a rostului sau slabei calificări a operatorului; *incluziunile de gaze* sau *incluziunile solide* cauzate de o viteză de sudare mare și de alegerea greșită a flăcării; *fisurile de diverse forme și localizări,* datorită metalului de adaos necorespunzător calității metalului de bază, precum și vitezei de răcire mari; *excesul de pătrundere*, datorită alegerii unui arzător de putere mare și a unei viteze mici de sudare.

Aceste defecte pot fi puse în evidență în urma unui control optico–vizual sau efectuând un control nedistructiv cu radiații penetrante, lichide penetrante, pulberi magnetice,ultrasunete, curenți turbionari, emisie acustică etc. Se fac apoi recomandările corespunzătoare remedierii defectelor constatate.

6.8.2. Sudarea prin topire cu termit

Procedeul se mai numește și *sudare prin turnare* și are la bază energia termo-chimică rezultată în urma unor reacții exoterme de înlocuire a unui metal din oxizii săi cu un alt metal mai electronegativ.

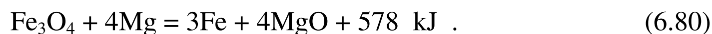
Cele mai des utilizate reacții exoterme sunt cele de înlocuire a fierului din oxizii săi de către aluminiu sau magneziu:



$$3Fe_3O_4 + 8Al = 9Fe + 4Al_2O_3 + 3\,035 \ \text{kJ} \ , \qquad (6.78)$$



$$Fe_2O_3 + 2Al = 2Fe + Al_2O_3 + 766 \ \text{kJ} \ , \qquad (6.79)$$



$$Fe_3O_4 + 4Mg = 3Fe + 4MgO + 578\ \text{kJ} \ . \qquad (6.80)$$

Aceste reacţii au loc într-un timp foarte scurt (10…15 secunde), cu temperaturi foarte înalte, care ating 3 300K. Dintr-un kg de amestec rezultă 420 g oxid de aluminiu care se elimină în zgură şi 550g oţel moale cu $\sigma_r < 100$ daN/mm^2 şi duritatea HB<400 daN/cm^2, care prin solidificare formează cusătura sudată.

Sudarea cu termit se poate executa în trei moduri: *prin topire, prin presiune* şi *combinat* (*topire* + *presiune*).

Schema de principiu a sudării cu termit prin topire se prezintă în figura 6.101. În creuzetul 1 se introduce amestecul 2 de oxizi de fier şi pulbere de aluminiu şi o pudră de aprindere 3, de magneziu. Creuzetul este prevăzut cu un capac de etanşare 4 şi un dop de turnare 5. Se aprinde pulberea de magneziu şi se declanşează reacţiile de substituţie care durează foarte puţin, rezultând topitura 6. Prin acţionarea dopului de turnare 5, topitura este introdusă în rostul îmbinării 7, format de piesele de sudat 8 şi 9, plasate într-o formă de turnare obţinută din amestecul de formare 10. Introducerea topiturii se face prin pâlnia de alimentare 11, piciorul pâlniei 12 şi canalul de alimentare 13. Pentru evacuarea gazelor ce apar la contactul cu pereţii reci ai cavităţii de turnare se prevăd răsuflătorii 14, iar pentru transferul retasurii de contracţie în afara cusăturii sudate 15, se prevede maselota 16, care se îndepărtează după dezbaterea îmbinării sudate din formă. În cazul sudării metalelor şi aliajelor neferoase se folosesc forme din grafit ce fac corp comun cu creuzetul.

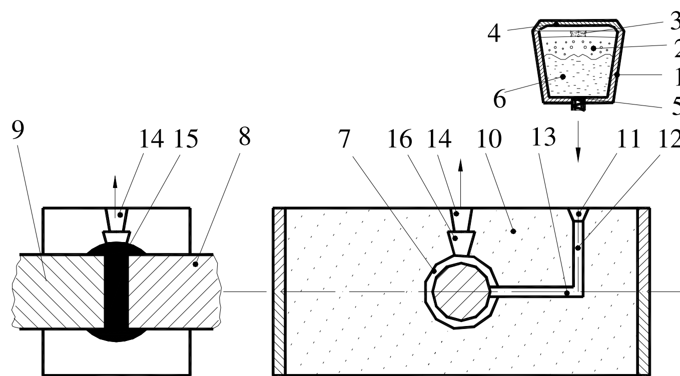


Fig . 6.101. Schema de principiu la sudarea cu termit:
1 – creuzet; 2 - încărcătură din oxizi de fier şi pulbere de aluminiu; 3 – pudră de aprindere; 4 – capac; 5 – dop; 6 – topitură; 7 – rostul îmbinării; 8; 9 – piesele de sudat; 10 – amestec de formare obişnuit; 11 – pâlnia de turnare; 12 – piciorul pâlniei de turnare; 13 – canalul de alimentare; 14 – răsuflători; 15 – cusătura sudată; 16 – maselotă.

Cea mai importantă aplicaţie a sudării cu termit este asamblarea cap la cap a şinelor de cale ferată şi de tramvai. Procedeul se mai aplică în cazul reparării

pieselor de gabarit mare din oțel sau din fontă, cum ar fi: batiurile de maşini unelte, cilindrii de laminor, tampoanele de vagoane, în construcțiile navale etc., încărcătura ajungând uneori până la 5 tone.

6.9. SUDAREA PRIN TOPIRE CU ENERGIE DE RADIAȚIE

Radiațiile corpusculare (electronii, ionii) şi cele electromagnetice, concentrate şi focalizate pot dezvolta puteri specifice mult mai mari decât sursele obişnuite folosite la procedeele de sudare clasice. O comparație asupra densității de energie obținute la diferitele procedee de îmbinare se prezintă în tabelul 6.36.

Se obțin temperaturi cuprinse între temperatura de topire şi temperatura de vaporizare, suficientă pentru a suda oricare tip de materiale cunoscute. Temperatura se poate regla prin schimbarea concentrației radiației, a timpului de acționare a sursei şi prin programarea vitezei de deplasare a sursei într-o anumită zonă şi cu o anumită valoare.

Tabelul 6.36. *Comparație între densitățile de energie obținute cu diferite surse termice*

Nr. crt	Sursa termică	Densitatea de putere [W/cm^2]	Suprafața minimă de acțiune [cm^2]
1	Arcul electric	10^5	10^{-3}
2	Flacăra oxioacetilenică	$5\cdot10^4$	10^{-2}
3	Arcul de plasmă	10^6	10^{-4}
4	Fasciculul de electroni	5×10^8	10^{-7}
5	Fasciculul de fotoni	10^9	10^{-8}

Cele două mari avantaje ale metodei, posibilitatea concentrării unei mari energii într-un spațiu foarte mic şi temperatura foarte mare obținută ca urmare a focalizării în zona dorită, au permis dezvoltarea a două procedee de sudare cu energie de radiație: *sudarea cu fascicul de electroni şi sudarea cu fascicul de fotoni.*

6.9.1. Sudarea cu fascicul de electroni

Procedeul are la bază transformarea energiei cinetice a electronilor, accelerați şi focalizați, în energie termică, prin frânarea acestora pe marginile pieselor de îmbinat.

Electronii produşi în urma unei emisii termo-electronice, străbat o diferență de potențial U_a şi preiau de la câmpul electric o energie cinetică de forma:

$$n \cdot e \cdot U_a = n\frac{m_e v_e^2}{2} \quad , \tag{6.81}$$

în care n este numărul electronilor; e - sarcina electrică a unui electron în C; m_e – masa electronului; v_e – viteza electronilor, în m/s.

Energia cinetică a electronilor este transformată în energie termică şi zona de impact (pete focale foarte mici, $10^{-2}…10^{-3}$ mm) poate ajunge rapid la temperatura de topire şi chiar de vaporizare.

Căldura rezultată se propagă prin conducţie până la o anumită adâncime care depinde de tensiunea de accelerare şi de natura materialului. La adâncimi mari îmbinarea se realizează pe baza efectului *key-hole* (gaură de cheie) prin care cusătura devine foarte îngustă în raport cu adâncimea de pătrundere.

Schema de principiu a unei instalaţii de sudat cu fascicul de electroni se prezintă în figura 6.102. Electronii emişi de termo–catodul de emisie 1, confecţionat din wolfram, tantal, borură de lambdan (LaB_4) etc., sunt dirijaţi de un sistem de electrozi de comandă 2, spre grila anodică 3, formându-se fasciculul 4. Fasciculul de electroni format este accelerat de grila de accelerare 5, datorită diferenţei de potenţial de 30…1 500 kV creată de o sursă de înaltă tensiune, trece prin diafragmele 6 şi lentilele stigmator 7, pentru a fi apoi focalizat de lentilele electromagnetice 8. Fasciculul de electroni 9, accelerat şi focalizat se trimite pe piesele de sudat 10 şi 11 aflate în camera vidată 12, unde sunt presiuni de ordinul $10^{-1}…10^{-4}$ torr, pe un dispozitiv de lucru 13, cu posibilitatea de deplasare după cele trei axe, în funcţie de tipul îmbinării şi configuraţia pieselor de sudat. Urmărirea şi dirijarea procesului de sudare se face cu un sistem electrono-optic 14. Este necesar ca piesele de sudat să fie plasate într-o cameră vidată, deoarece în aer se produce o diminuare a puterii fasciculului şi o dispersie a lui.

Parametrii regimului de sudare sunt:

- tensiunea de accelerare a fasciculului de electroni;
- curentul fasciculului de electroni;
- viteza de sudare;
- focalizarea fasciculului;
- pulsarea şi pendularea fasciculului;
- natura materialului de sudat
- presiunea în camera vidată;
- grosimea pieselor de sudat.

Avantajele procedeului. Având în vedere principiul de formare a cusăturii sudate, procedeul prezintă următoarele avantaje:

- densitatea foarte mare de energie pe suprafaţa de impact, ce determină o încălzire locală rapidă până la topire;
- sudarea nu necesită material de adaos;
- sudarea are loc în general în vid şi suprafeţele sunt protejate de procesele de oxidare şi impurificare cu gaze;
- sudarea se face într-o singură trecere la piese cu grosime de 0,02…130mm, în funcţie de natura materialului şi performanţele echipamentului;
- zona influenţată termic este foarte mică;

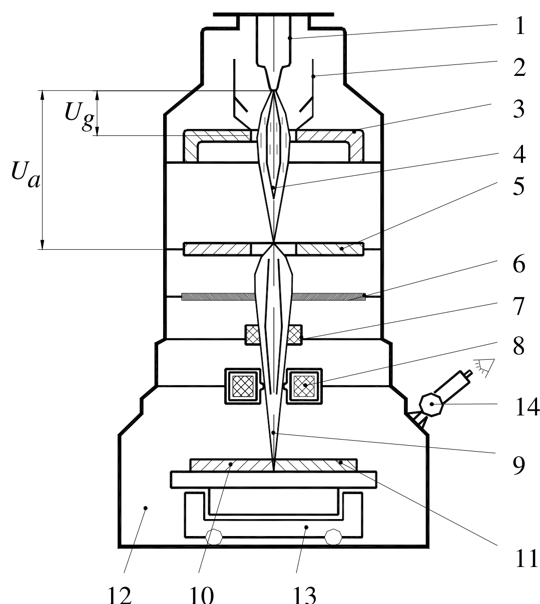


Fig. 6.102. Schema de principiu a unei instalații de sudat cu fascicul de electroni:
1 – termocatod de emisie; 2 – electrozi de dirijare; 3 – grila anodică; 4 – fascicol de electroni;
5 – grila de accelerare; 6 – diafragmă; 7 – lentile stigmator; 8 – lentile electromagnetice de focalizare;
9 – fascicul de electroni accelerat şi focalizat; 10 ; 11 – piesele de sudat; 12 – camera vidată;
13 – dispozitiv de lucru; 14 – sistem electrono – optic de urmărire.

- procesul de sudare este reproductibil, deoarece puterea fasciculului poate fi precis dozată şi controlată;
- cusătura sudată este foarte îngustă datorită diametrului mic al fasciculului şi vitezelor mari de sudare (raportul adâncime/lățime este până la 50:1)
- structura sudurii este fină datorită topirii şi răcirii cu viteză mare, ne mai fiind necesare tratamente termice;
- permite realizarea simultană a două sau mai multe suduri la o singură trecere;

Dezavantajele procedeului sunt legate de instalația folosită la sudare:

- instalațiile au o construcție complexă şi deci scumpă;
- necesitatea creării vidului în camera vidată limitează dimensiunile pieselor ce pot fi sudate;
- deservirea instalațiilor trebuie făcută de personal cu calificare înaltă;
- pregătirea deosebită a rostului îmbinării;
- în procesul de sudare se produc raze X, de aceea sunt necesare măsuri de protecție pentru operatori.

Aplicabilitatea sudării cu fascicul de electroni. Datorită avantajelor pe care le are şi fenomenelor care au loc la formarea cusăturii sudate procedeul se aplică la:

- sudarea unei game foarte largi de metale şi aliaje active (Ti, Zr, Be, Na, şi aliajele lor); metale şi aliaje refractare (Mo, Ta, W, V, Nb şi aliajele lor); oţeluri de construcţie; aluminiu şi aliaje de aluminiu etc.

- sudarea unei game largi de materiale nemetalice sau combinaţii ale acestora;

- sudarea a două materiale diferite de exemplu, sudarea unei părţi active a unei scule confecţionate dintr-un material foarte scump, pe un suport confecţionat din material ieftin şi realizarea unor piese deosebit de pretenţioase în funcţionare (roţi dinţate, pinioane, planetare, supape, freze, ferăstraie, cuţite etc.)

- realizarea de piese de dimensiuni mici, utilizate în microelectronică, microelectrotehnică, bionică etc.;

6.9.2. Sudarea cu fascicul de fotoni

Procedeul are la bază fenomenul de emisie stimulată a radiaţiei luminoase, descoperit de Einstein în 1917. Trecerea de la o stare energetică staţionară la alta se face prin tranziţii între nivelurile energetice ale sistemului, urmate de absorbţie sau emisie de radiaţie. Aceste tranziţii au loc în urma interacţiunii undelor electromagnetice cu sistemul atomic. Trecerea de la niveluri energetice inferioare la niveluri energetice superioare se face cu absorbţie de energie de către sistem, iar trecerea de la niveluri energetice superioare la niveluri energetice inferioare se face cu emitere de energie sub formă de radiaţii. Prezintă interes fenomenul de absorbţie sau de *emisie stimulată***.**

Stimularea emisiei de radiaţie se realizează prin aplicarea asupra atomilor, ionilor sau moleculelor a unei energii de excitaţie care, în anumite condiţii determinate, produce emisie de lumină. Aceste fenomene se pot desfăşura într-un generator cuantic numit *laser* (lumina amplificată prin stimularea emisiei de radiaţie). Laserul este un generator de radiaţii electromagnetice, cu lungimi de undă începând din domeniul ultraviolet şi extinzându-se până în infraroşul îndepărtat, care se bazează pe absorbţia de energie de către un mediu activ şi emiterea acesteia sub formă de *radiaţie stimulată.* Pentru a obţine amplificarea radiaţiei este necesar ca energia emisă să fie mai mare decât energia absorbită, situaţie ce are loc dacă există o *inversiune de populaţie.*

Realizarea inversiunii de populaţie are loc în urma introducerii unei energii numită *radiaţie de pompaj* şi dacă au loc interacţiuni între radiaţiile electromagnetice şi sistemele atomice ale unei *substanţe active*. În funcţie de modul de realizare a inversiunii de populaţie se deosebesc următoarele tipuri de lasere:

- *cu mediu activ solid***,** la care inversiunea se realizează prin *iradiere optică;*

- *cu mediu activ gazos*, la care inversiunea se realizează prin *ciocniri neelastice* şi prin *iradiere optică*;

- *cu semiconductoare***,** la care inversiunea se realizează prin *injecție de electroni, prin iradiere electronică şi iradiere optică;*

- *chimici,* la care inversiunea se realizează prin *disocieri chimice.*

Interacțiunea dintre radiațiile electromagnetice şi substanța activă se produce în mod eficient dacă are loc într-un spațiu denumit *rezonator optic.*

La sudare se utilizează cel mai mult *laserii cu mediu activ gazos*, format din amestecul de gaze CO_2 + He + Ne, sau *laserii cu mediu activ solid*: Al_2O_3 – Cr^{+3}; YAG – Nd; sticlă – Nd. Laserul gazos produce o *radiație laser (fascicul de fotoni)* cu lungimea de undă de 10,6 μm şi poate funcționa *în regim continuu* sau *regim de impulsuri*. Schema de principiu a unui generator laser utilizat la sudarea materialelor se prezintă în figura 6.103.

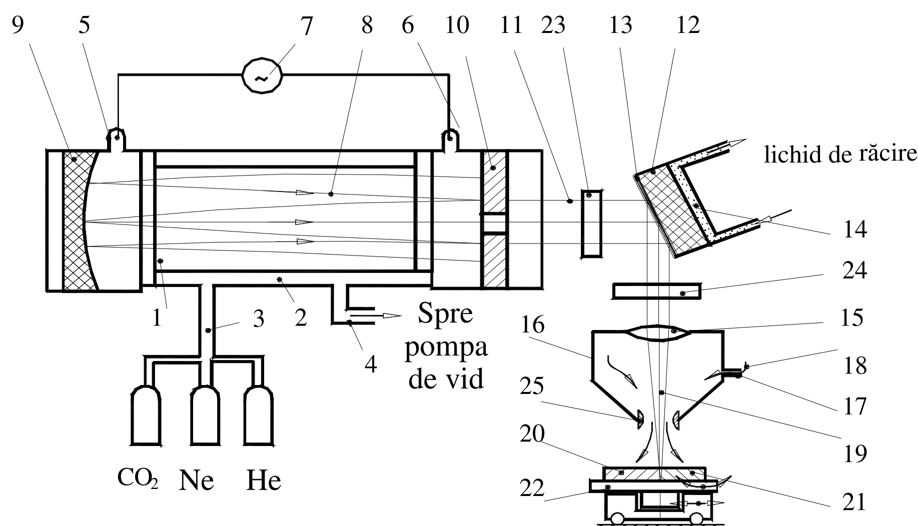


Fig. 6.103. Schema de principiu a instalației de sudat cu fascicol de fotoni:
1 – rezonatorul optic; 2 – tubul de descărcare; 3 – mediul activ; 4 – orificiul de evacuare a aerului; 5; 6 – electrozi de descărcare; 7 – sursa de înaltă tensiune; 8 – radiația luminoasă; 9 – oglinda opacă; 10 – oglinda semitransparentă; 11 – fasciculul de fotoni; 12 – oglindă de deflexie; 13 – stratul de Au; 14 – dispozitivul de răcire; 15 – lentilă de focalizare; 16 – ajutajul de lucru; 17 – orificiu de introducere a gazelor de protecție; 18 – gaze de protecție; 19 – fasciculul de fotoni concentrat şi focalizat; 20; 21 – piesele de sudat; 22 – masa de uzinaj fotonic; 23 ; 24 – obturatoare de siguranță; 25 – duza de conducere.

În rezonatorul optic 1, creat în spațiul tubului de descărcare 2, se introduce mediul activ 3, format din amestecul de gaze CO_2 + He+ Ne, după ce s-a realizat un vid înaintat scoțând aerul prin orificiul 4. Inversiunea de populație se creează printr-o descărcare electrică între electrozii 5 şi 6 conectați la sursa de înaltă tensiune 7. Se formează radiația termică luminoasă 8, care este amplificată între oglinzile 9 şi 10 ale rezonatorului. Forma oglinzilor de capăt ale rezonatorului

poate fi plană (rezonator tip Fabry–Perot), sferică (rezonator concentric) sau con–focală. Radiația luminoasă amplificată iese parțial prin suprafața lentilei semitransparente 10, paralelă cu lentila opacă 9 şi formează *fasciculul de fotoni* (fasciculul laser) 11. Fasciculul laser este *coerent*, *monocrom, direcțional şi foarte intens*. Datorită timpului foarte scurt în care se produce emisia stimulată (10^{-6}s) şi datorită posibilităților de a fi uşor condus, concentrat şi focalizat, fasciculul laser poate ajunge la densități de energie de 10^{10} W/cm^2. Fasciculul poate fi focalizat pe suprafețe foarte mici (de 10^{-8} cm^2), dezvoltând temperaturi de până la 30 000K, suficiente să topească şi să vaporizeze orice material. Pentru a fi utilizat la sudare, fasciculul de fotoni este deflectat cu 90^0 de către oglinda de deflexie 12, acoperită cu un strat de aur 13 şi răcită în permanență 14. Fasciculul deflectat este focalizat de lentila de focalizare 15, aşezată la intrarea în ajutajul de lucru 16. Prin orificiul 17 al ajutajului se introduce amestecul de gaze de protecție 18, care protejează nu numai fasciculul de fotoni focalizat 19, ci şi zona îmbinării formată între piesele de sudat 20 şi 21, aşezate pe masa de uzinaj fotonic 22.

Laserii cu rubin au mediul activ solid format dintr-un cristal de Al_2O_3 dopat cu ioni trivalenți de crom (Cr^{+3}) şi produc o radiație laser cu lungimea de undă de 0,69µm, funcționând eficient în regim de impulsuri. La acest tip de lasere, inversiunea de populație se face prin pompaj optic cu ajutorul unei lămpi fulger aflată într-o dispunere eliptică cu cristalul de rubin.

Laserii YAG–Nd au mediul activ solid format din granat de nitriu şi aluminiu dopat cu neodim, produc o radiație laser cu lungimea de undă de 1,06µm şi pot funcționa şi în regim de impulsuri sau continuu. Frecvența impulsurilor la acest tip de laser este mai mare decât la laserul cu rubin.

Parametrii regimului de sudare sunt:

- natura materialelor de sudat (în principal reflexivitatea şi conductibilitatea termică);
- natura mediului activ şi felul regimului de funcționare;
- densitatea de energie a fasciculului;
- puterea fascicolului de fotoni;
- lungimea de undă a radiației electromagnetice;
- grosimea pieselor de sudat şi starea suprafețelor;
- viteza de sudare;
- focalizarea fasciculului şi natura gazelor de protecție;
- distanța de lucru;
- mişcarea de oscilație a fasciculului în raport cu axa sa.

Avantajele procedeului apar având în vedere modul de formare a cusăturii sudate:

- densitatea foarte mare de energie pe suprafață ce determină o încălzire locală foarte rapidă, până la topire;
- nu necesită spațiu vidat pentru piesele de sudat;
- zona influențată termic este de cele mai mici dimensiuni;

- cusătura sudată este foarte îngustă;
- posibilitatea reflectării şi conducerii fasciculului la locul de prelucrare, ce poate fi în cu totul altă parte decât instalația de prelucrare şi la mare distanță;
- permite realizarea unor lucrări de mare finețe şi precizie (microsuduri în microelectronică, microelectrotehnică, aparatura de cercetare);
- permite sudarea materialelor complet diferite.

Dezavantajele procedeului rezultă, în general, din instalația folosită la sudare şi constau în:

- pătrunderi mici, mai ales la sudarea metalelor;
- grosimea limitată a pieselor de sudat;
- echipamentul de lucru scump şi randamentul energetic scăzut;
- deoarece fasciculul laser este puternic reflectat, este necesară acoperirea suprafețelor cu un strat absorbant.

Aplicabilitatea sudării cu fascicul de fotoni rezultă din avantajele pe care le prezintă procedeul şi din fenomenele ce apar în timpul procesului de sudare:

- are un grad mare de universalitate, putându-se suda în aer, atmosferă protectoare sau vid, în special metalele şi aliajele lor care au o tendință accentuată spre oxidare;
- se aplică la realizarea microcircuitelor electronice, microcipurilor şi a celor mai complicate dispozitive electronice;
- se aplică la sudarea unor materiale ca Au, Ag, Cu, Al, Ni, Mo, Ta, W şi aliajele lor, precum şi la sudarea unor combinații precum: aur–siliciu; aur–germaniu, aur–aluminiu, cupru–siliciu, aur–siliciu placat cu aluminiu etc. Câteva exemple de îmbinări realizate prin sudare cu fascicul laser sunt prezentate în figura 6.104;

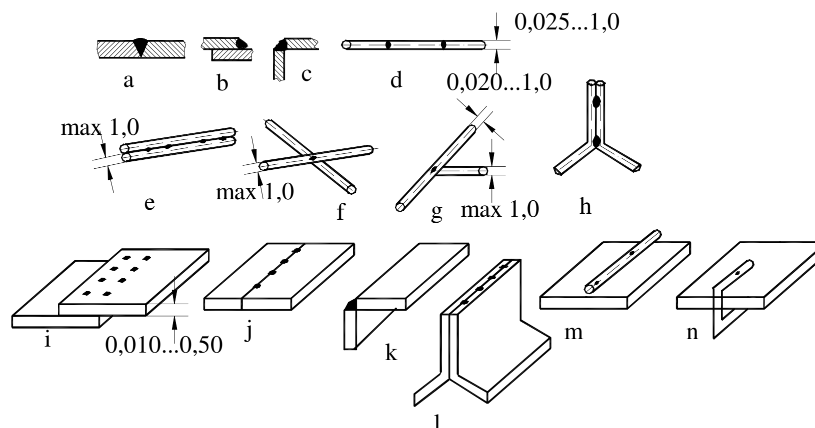


Fig. 6.104. Câteva tipuri de îmbinări sudate cu fascicol laser:
a; d; j – cap la cap; b; f; g; i – prin suprapunere; c; k – de colț; h; l – cu marginile răsfrânte; m; n – fire pe plăci.

- se aplică la sudarea firelor şi microfirelor, foliilor şi foiţelor din materiale diferite.

Deoarece performanţele tehnice depind de fasciculul laser, majoritatea cercetărilor sunt direcţionate spre găsirea de noi medii active cu randamente cât mai ridicate şi scăderea preţului de cost al echipamentului.

6.10. SUDAREA PRIN PRESIUNE

6.10.1. Generalităţi. Clarificarea procedeelor de sudare prin presiune

Aceste procedee de sudare au la bază fenomenele ce apar în timpul deformării plastice a zonelor de îmbinat şi curgerea plastică a materialului, *sub acţiunea unor forţe de compresiune*. Datorită acestor forţe de compresiune şi curgerii plastice a materialelor, atomii marginali ai suprafeţelor de îmbinat sunt apropiaţi la distanţe mai mici decât distanţa interatomică cu formarea unor legături atomice reciproce, rezultând îmbinarea sudată. Deoarece curgerea plastică a materialelor creşte cu temperatura, în majoritatea cazurilor este necesară *o încălzire locală* a zonei de îmbinat, micşorându-se foarte mult şi forţele necesare.

La aceste procedee, în zona de îmbinare, materialul se află în stare plastică sau chiar în stare topită, sudarea făcându-se fără material de adaos.

După temperatura maximă dezvoltată în zona sudurii, procedeele de sudare prin presiune se împart în următoarele grupe:

- *sudarea prin presiune la rece,* când temperatura în locul de formare a sudurii este mai mică decât temperatura de recristalizare a materialelor de sudat;

- *sudarea prin presiune la cald în stare solidă,* când temperatura în locul de formare a sudurii este mai mare decât temperatura de recristalizare, dar mai mică decât temperatura de supraîncălzire;

- *sudarea prin presiune la cald cu topire,* când temperatura în locul de formare a sudurii este egală sau mai mare decât temperatura de topire a materialelor de sudat.

O clasificare a procedeelor de sudare prin presiune, folosind drept criterii, natura energiei utilizate pentru încălzirea locală şi caracteristicile tehnologice, se prezintă în figura 6.105.

6.10.2. Sudarea prin presiune cu energie electrică

La aceste procedee, piesele de sudat se apropie una de alta până la atingere în zona de îmbinat unde se creează o rezistenţă electrică de contact. Încălzirea locală a zonei de îmbinat se face datorită efectului Joule–Lentz. După atingerea unei temperaturi corespunzătoare unei plasticităţi ridicate, piesele sunt supuse unor forţe de compresiune care asigură realizarea îmbinării sudate. Pentru obţinerea unei

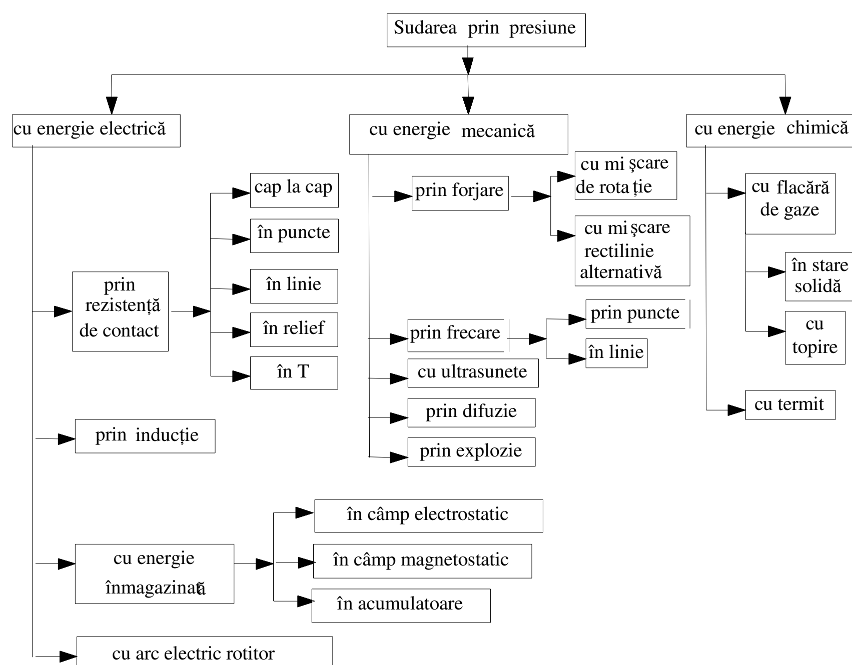


Fig. 6.105. Clasificarea principalelor procedee de sudare prin presiune.

cantități mari de căldură într-un timp foarte scurt se folosesc curenți de intensități foarte mari. Cele mai des întrebuințate procedee sunt prezentate în continuare.

6.10.2.1. Sudarea prin presiune prin rezistență de contact cap la cap

Are la bază schema de principiu prezentată în figura 6.106. Piesele de sudat 1 şi 2 sunt prinse în bacurile de cupru 3 şi 4 ale maşinii de sudat 5 şi legate în secundarul transformatorului electric 6. Bacul mobil 3 împreună cu piesa 1 se deplasează pe ghidajele 7 ale maşinii 8, până vine în contact cu piesa 2, moment în care se închide circuitul secundar al transformatorului de sudare 6, puternic coborâtor de tensiune (0,5…6,0V). În funcție de modul în care se formează îmbinarea sudată în zona de contact şi de procesele ce au loc în piesele de sudat se deosebesc două variante de sudare cap la cap:

- *sudarea cap la cap în stare solidă prin refulare*, când piesele de sudat cu părțile frontale prelucrate îngrijit şi curățate chimic, sunt aduse în contact şi supuse unei presiuni inițiale p_i (fig.6.106. b). La contactul dintre ele se închide circuitul secundar al transformatorului şi capetele pieselor se încălzesc, datorită rezistenței electrice de contact, până la temperatura de deformare plastică (de exemplu, la oțel până la 1 200…1 500K). Cantitatea de căldură Q, dezvoltată în zona de contact este dată de relația:

$$Q = 0{,}24\int_0^{t_s}\left\{\left[R_{p1}+R_{p2}\right](t)+R_c(t)\right\}I_s^2(t)\,\mathrm{d}t \quad , \qquad (6.82)$$

în care R_{p1}, R_{p2} şi R_c sunt rezistenţele pieselor de sudat şi respectiv de contact; t_s - timpul de sudare; I_s – intensitatea curentului de sudare.

După atingerea temperaturii corespunzătoare deformării plastice, se comandă *refularea*, cu o presiune de refulare p_r şi cu respectarea condiţiei $p_r > p_i$. După începerea refulării, la atingerea unei anumite deformări plastice, se întrerupe curentul, şi în urma răcirii se obţine sudura 11, îmbinarea sudată prezentând scurtarea Δl;

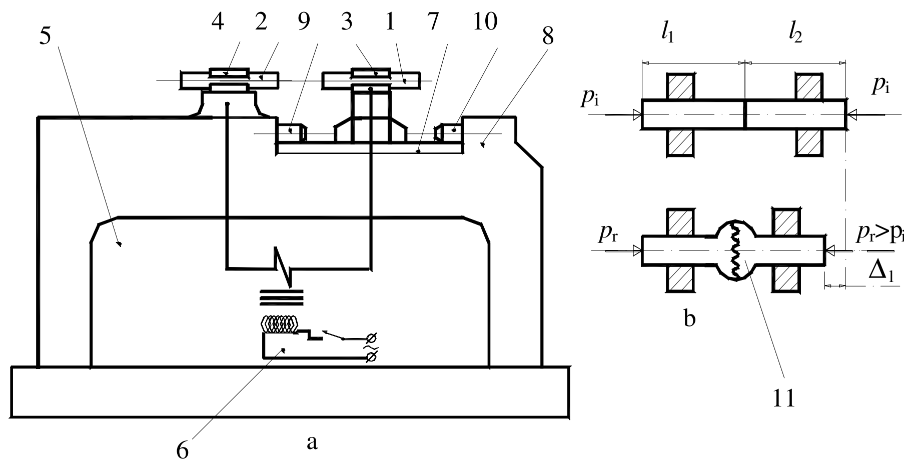


Fig. 6.106. Schema de principiu la sudarea prin presiune cap la cap:
a – schema instalaţiei folosite; b – fazele de realizare a îmbinării: 1; 2 – piesele de sudat; 3; 4 – bacurile de prindere; 5 – maşina de sudat; 6 – transformatorul de sudare; 7 – ghidaje; 8 – batiu; 9;10 – opritori; 11 – îmbinarea sudată; p_i – presiunea iniţială; p_r – presiunea de refulare.

- *sudarea cap la cap prin topire intermediară,* care se deosebeşte de procedeul de mai sus prin faptul că piesele sunt supuse unei tensiuni înainte de a fi aduse în contact, şi în momentul aducerii lor în contact, punctele iniţiale de contact se topesc datorită densităţii mari de curent. Între asperităţi se produc şi mici arce electrice de scurtă durată, şi prin avansarea piesei, până în bacul mobil, se creează noi puncte de contact, ceea ce permite continuarea procesului. În timpul acestei operaţii numită *scânteiere*, cea mai mare parte a metalului topit este expulzat violent sub formă de scântei. Dacă deplasarea saniei mobile se face fără întrerupere, procedeul se numeşte *sudare prin scântei cu topire continuă*, iar dacă deplasarea se face cu intermitenţă, mişcările de apropiere alternând cu cele de retragere, în vederea accentuării scânteierii, procedeul se numeşte *sudare prin scântei cu topire discontinuă.* După obţinerea unor pelicule continue de metal topit

pe capetele pieselor de sudat, acestea se apropie una de alta, prin refulare, cu viteză mare şi se realizează sudarea pieselor pe întreaga suprafaţă de contact. Condiţia realizării unei suduri bune este ca viteza de apropiere a pieselor una de alta să fie egală cu viteza de topire. După refulare, transformatorul de alimentare cu curent se întrerupe, iar prin reconectarea lui la momentul potrivit şi pe o durată determinată se poate realiza şi un tratament termic.

Tehnologia sudării electrice prin presiune cap la cap în stare solidă presupune parcurgerea următoarelor operaţii:

1 - *Pregătirea pieselor* trebuie să asigure un contact electric bun între suprafeţele frontale ale pieselor care se îmbină. Constă în prelucrarea mecanică până la luciu metalic, curăţirea suprafeţelor de grăsimi, uleiuri, murdărie, cu solvenţi ca: alcool, benzină, tetraclorură de carbon sau sodă caustică soluţie 10% încălzită la 100˚C;

2 - *Stabilirea parametrilor regimului de sudare.* Trebuie luaţi în considerare următorii parametri:

- densitatea de curent sau puterea electrică consumată;
- timpul de menţinere sub tensiune;
- presiunea iniţială şi de refulare;
- temperatura maximă în zona de contact la sfârşitul sudării;
- lungimea liberă a pieselor în bacurile de prindere;
- scurtarea la refulare;
- natura materialelor de îmbinat şi mărimea secţiunii în zona de contact.

Regimurile de sudare se numesc *regimuri dure* (când densităţile de curent sunt mari şi timpul de sudare scurt) şi *regimuri moi* (când densităţile de curent sunt mici şi timpul de sudare mare). Densităţile de curent uzuale sunt alese între 50..70A/mm^2 pentru sudarea oţelurilor, 150…200A/mm^2 pentru aluminiu şi aliajele sale şi 250..300A/mm^2 pentru cupru şi aliajele sale.

Temperatura pieselor depinde de puterea consumată şi durata de încălzire a pieselor, iar scurtarea la refulare depinde de forţele de refulare şi temperatura pieselor de sudat.

Durata de încălzire a pieselor variază invers proporţional cu densitatea de curent şi are valori cuprinse între 0,5..15s (timpi scurţi la maşinile automate şi lungi la maşinile cu acţionarea manuală).

Presiunea de refulare se stabileşte între 1,5..3,0daN/mm^2 la regimul moale şi 3,5..5,0 daN/mm^{2}la regimul dur – în cazul sudării oţelurilor, iar în cazul sudării neferoaselor se stabileşte între 1,0..1,5 daN/mm^2.

Lungimea liberă l creşte cu diametrul pieselor şi cu conductibilitatea electrică şi termică a pieselor, recomandându–se valorile: l = (0,5..1,0)d – pentru oţel moale; l = (2..2,5)d – pentru cupru; l = (1,5..2,0)d – pentru aluminiu şi alamă (d este diametrul barelor de sudat).

3 - *Alegerea puterii specifice* se face în funcţie de secţiunea de sudat, utilajul folosit şi proprietăţile materialului de îmbinat (conductibilitatea termică şi

electrică). Se alege uzual în gama 0,12..0,15 kVA/mm^2.

4 - *Calculul rezistenței îmbinării.* Rezistența îmbinării este mai mică decât cea a materialelor ce se sudează datorită zonei influențate termic, unde grăunții cristalini cresc mult, şi datorită imperfecțiunilor în pregătirea pieselor de sudat;

5 - *Sudarea propriu–zisă* se face ținând cont de natura pieselor de îmbinat, mărimea secțiunilor de contact, tipul utilajului şi natura materialelor de sudat.

6 - *Controlul îmbinărilor sudate* constă în depistarea eventualelor defecte ce pot apărea în urma procesului de sudare ca: *deplasarea capetelor; cratere închise; exfoliere; pori în apropierea suprafeței de îmbinare; peliculă de incluziuni metalice şi nemetalice* şi altele. Pentru punerea în evidență a acestora se face un control optico−vizual şi un control nedistructiv cu radiații penetrante, cu lichide penetrante, cu ultrasunete, cu pulberi magnetice, cu emisie acustică sau curenți turbionari etc.

Aplicabilitatea procedeului. *Sudarea prin presiune cap la cap* prin refulare se aplică la îmbinarea barelor din oțel de formă circulară sau prismatică, cu secțiunea până la 50 000mm^2, şi din cupru, cu secțiunea de până la 2 000mm^2. Se utilizează în industria producătoare de țevi, sârme, profile laminate, căi ferate, vagoane, bandaje de roți dințate, jenți pentru autovehicule, zale de lanț, chesoane, scule aşchietoare etc. Se poate executa o sudare cap la cap sau pe generatoare.

Sudarea prin presiune cap la cap prin topire intermediară se aplică pieselor cu secțiuni mari ca: bare, țevi, piese forjate, piese laminate (tije, pârghii, buloane, tiranți, tampoane de şoc pentru vagoane, şine de tramvai sau cale ferată, țevi pentru schimbătoarele de căldură etc.), piese inelare sau în formă de cadru (jenți pentru automobile, rame pentru tâmplărie mecanică etc.).

6.10.2.2. Sudarea prin presiune prin rezistență în puncte

Procedeul are la bază efectul Joule–Lentz produs de curentul electric ce străbate două sau mai multe piese suprapuse, îmbinarea producându–se în puncte distincte. Punctele de sudură se pot realiza succesiv sau simultan, poziția lor fiind în funcție de poziția electrozilor de sudare ce închid circuitul curentului electric de sudare, deosebindu-se mai multe variante:

- *sudare în puncte din două părți* (fig. 6.107) unde punctul de sudură 1 se formează între piesele de sudat 2 şi 3, suprapuse şi presate cu o forță de presare P, de către electrozii de sudare 4 şi 5 legați în secundarul transformatorului de sudare 6, puternic coborâtor de tensiune. Circuitul de sudare se închide numai după ce s-a realizat o bună presare şi contactul intim dintre cele două piese de sudat. Densitatea de curent va fi maximă între cele două piese, deoarece aici rezistența de contact $R_{ps}R_{pi}$, va fi maximă şi, deci, şi temperatura va fi maximă în această zonă. Rezistența totală a circuitului de sudare R_t este dată de relația:

$$R_t = R_{es} + R_{esps} + R_{ps} + R_{pspi} + R_{pi} + R_{piei} + R_{ei}, \tag{6.83}$$

în care: R_{es}, R_{ei} sunt rezistențele electrice ale electrodului superior, respectiv inferior; R_{ps}, R_{pi} – rezistențele electrice ale pieselor de sudat superioară şi respectiv inferioară; $R_{ps}R_{pi}$ – rezistența electrică dintre cele două piese; R_{piei} – rezistența electrică la contactul piesă inferioară–electrod inferior; R_{pspi} – rezistența electrică la contactul electrod superior-piesă superioară.

Deoarece rezistențele R_{esps}, R_{eipi} sunt de nedorit, efectul lor se diminuează prin utilizarea unor electrozi buni conducători de electricitate (confecționați din Cu sau aliaje: Cu – Cr, Cu – Cd, Cu – Be – Co etc.) şi răciți în permanență, precum şi prin curățirea zonelor de contact (prin sablare, periere, decapare chimică) până la luciu metalic.

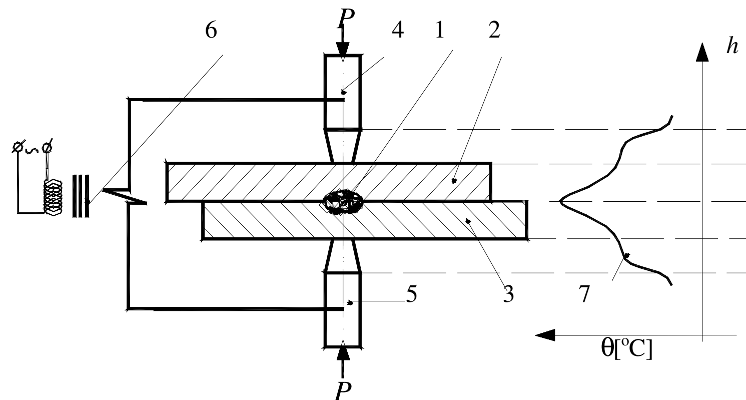


Fig. 6.107. Schema de principiu la sudarea prin presiune prin rezistență în puncte din două părți: a – schema de principiu; b – variația temperaturii pe secțiune; 1 – punctul de sudură; 2; 3 – piesele de sudat; 4; 5 – electrozii de sudare; 6 – transformatorul de sudare; 7 – diagrama de variație a temperaturii în zonele de contact electrozi – piese şi piesă – piesă.

- *sudarea în puncte dintr-o singură parte* (fig.6.108) unde punctele de sudură 1 şi 2 se realizează simultan între piesele de sudat 3 şi 4, prinse între electrozii 5 şi 6 şi contra-electrodul 7, confecționat din Cu. Cei doi electrozi sunt legați în secundarul transformatorului de sudare 8, puternic coborâtor de tensiune, circuitul electric închizându-se după liniile I, II, III. Acest procedeu se aplică atunci când configurația pieselor nu permite prinderea lor din ambele părți.

Pentru a realiza un punct de sudură este necesar să fie îndeplinite următoarele condiții prinse într-o *diagramă de funcționare* a oricărei maşini de sudat prin rezistență în puncte (fig. 6.109):

- închiderea circuitului de sudare să se facă numai după ce piesele au fost bine strânse între electrozi;

- întreruperea circuitului electric să se realizeze atunci când forța de apăsare are valori mari, pentru a se asigura răcirea şi solidificarea punctului de sudură.

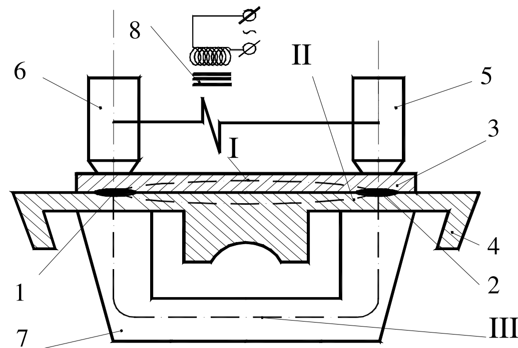


Fig. 6.108. Schema de principiu la sudarea prin presiune prin rezistență în puncte dintr-o singură parte:
1, 2 – punctele de sudură; 3; 4 – piesele de sudat; 5; 6 – electrozii pentru sudare; 7 – contra-electrodul de cupru; 8 – transformatorul de sudare; I, II, III – linii de închidere a circuitului electric.

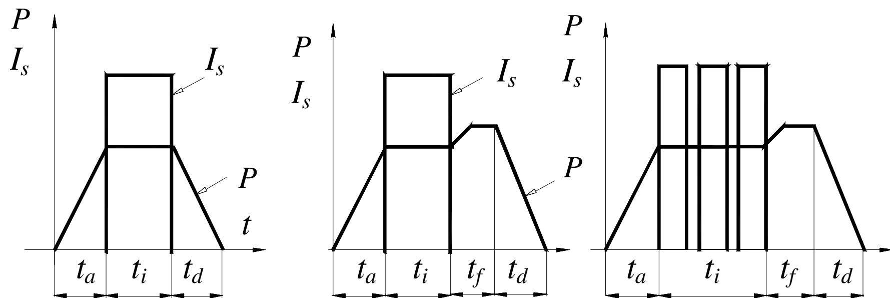


Fig. 6.109. Câteva diagrame de funcționare ale maşinilor de sudat prin rezistență în puncte: a – normală; b – cu forjarea punctului de sudură; c – cu deconectarea periodică a curentului şi forjarea punctului de sudare; t_a- timpul de apropiere; $t_î$ – timpul de închidere a circuitului; t_f – timpul de forjare; t_d – timpul de desfacere.

Diagrama de funcționare se ridică în coordonatele: t – timpul; p – forța de apăsare a pieselor; I_s – intensitatea curentului circuitului de sudare.

Durata T_c, a unui ciclu de sudare este dată de relația:

$$T_c = t_a + t_î + t_d \quad [\text{min}] \tag{6.84}$$

în care t_a este timpul necesar realizării contactului intim între cele două piese; $t_î$ – timpul necesar încălzirii până la starea plastică sau topire; t_d – timpul de solidificare şi desfacere a pieselor dintre electrozi.

Pentru îmbunătățirea proprietăților mecanice ale punctelor de sudură, se măreşte forța de apăsare P spre sfârşitul procesului de sudare (fig. 6.110. b şi c), realizându-se în acest timp (t_f) o forjare a punctelor de sudură.

Procesul se aplică la îmbinarea de table, benzi, sârme şi profile subțiri de până la maxim 25 mm, confecționate din oțel, crom, nichel, alamă, cupru, bronz, zinc, aluminiu şi aliajele lor. Se realizează construcții uşoare din table şi profile subțiri din oțel sau aliaje neferoase, construcții de autovehicule, de vagoane de cale ferată, tramvaie şi troleibuze, construcții aeronautice, tâmplărie metalică, construcții civile şi industriale, unicate şi de serie pentru mobilier şi industria bunurilor de consum şi uz gospodăresc.

- *sudarea în puncte în relief* (fig.6.110) prin care se realizează simultan mai multe puncte de sudură, cu pierderi minime de curent. Pe piesa superioară 1 sunt prelucrate inițial prin prelucrare plastică proeminențele 2, ce constituie puncte de contact cu piesa 3. Cele două piese de sudat se presează între plăcile electrozi 4 şi 5 legate în secundarul transformatorului de sudare 6, formându–se în final punctele de sudură 7. Numărul proeminențelor ce se sudează simultan este de 2...12, în funcție de grosimea materialului şi puterea maşinii de sudat. Procedeul prezintă următoarele avantaje: productivitate ridicată; concentrare importantă a căldurii în punctele de contact şi uzură mică a plăcilor – electrozi. Procedeul se aplică în special la realizarea miezurilor din tole de transformator şi la sudarea pieselor gofrate (tuburi, țevi, plăci etc.).

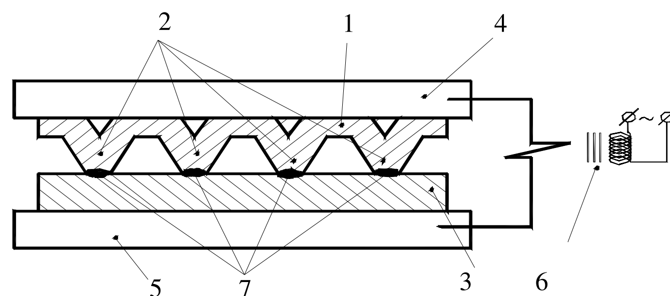


Fig. 6.110. Schema de principiu la sudarea în puncte în relief:
1 – piesa superioară; 2 – proeminențe; 3 – piesa inferioară; 4; 5 – plăcile – electrozi;
6 – transformatorul de sudare; 7 – punctele de sudură.

- *sudarea prin rezistență în puncte multiple,* prin care se realizează simultan sau succesiv mai multe puncte de sudură, în funcție de utilajul folosit la această variantă. Maşina de sudat este prevăzută cu un număr mare de electrozi care sunt apăsate pe rând sau simultan pe piesele de sudat. Procedeul se utilizează la sudarea carcaselor, grătarelor, caroseriilor diferite (aşa se sudează spre exemplu corpurile maşinilor de gătit tip ,,aragaz”, armăturile pentru planşeele de beton etc.).

Tehnologia sudării prin rezistență în puncte presupune înlănțuirea logică a unor operații tehnologice specifice, care vor determina în final calitatea îmbinării sudate, calitate dată de rezistența punctului sau punctelor de sudură realizate. Principalele operații tehnologice sunt:

1 - *Pregătirea pieselor în vederea sudării.* Starea suprafeţelor în zona de contact a pieselor de sudat schimbă configuraţia câmpului termic şi forma nucleului topit, deci şi formarea punctului de sudură. Stratul de oxizi, murdărie, vopsea, ulei etc., are o mare influenţă asupra procesului de sudare, deoarece se comportă ca un strat izolator care împiedică stabilirea unui curent având valoarea necesară realizării procesului de sudare. De aceea, suprafeţele de îmbinat trebuie curăţite foarte bine cu perii rotitoare, sablaj sau prin atac chimic până la luciu metalic;

2 - *Controlul iniţial al pieselor de sudat* are drept scop depistarea eventualelor defecte existente în piesele de sudat. Se face un control optico–vizual sau un control nedistructiv cu ultrasunete, lichide penetrante, pulberi magnetice sau alte metode corespunzătoare configuraţiei geometrice şi naturii îmbinării.

3 - *Stabilirea parametrilor regimului de sudare*. Parametrii regimului de sudare care trebuie luaţi în considerare sunt: densitatea de curent, forţa de apăsare a electrozilor; timpul de sudare şi diametrul vârfului electrozilor. În funcţie de valorile parametrilor regimului de sudare se utilizează două categorii de regimuri de sudare:

- *regimuri moi,* caracterizate prin densitate de curent mică (70..160 A/mm^2), timp de sudare lung (1,5..3,0 s) şi forţă de apăsare mică;

- *regimuri dure* (tari), caracterizate prin densitate de curent mare (160…400 A/mm^2), timp de sudare scurt (0,01..1,5 s) şi forţa de apăsare mare (peste 5 daN/mm^2).

Parametrii regimului de sudare se aleg în funcţie de natura materialului de sudat, grosimea pieselor de sudat, starea suprafeţelor şi clasa de calitate dorită pentru punctul de sudură. Trebuie ţinut cont de următoarele recomandări:

- *intensitatea curentului de sudare* I_s, respectiv densitatea de curent se poate determina cu relaţiile:

$$I_s = 6500 \cdot s \quad [\mathrm{A}] \ , \tag{6.85}$$

pentru oţel moale, în care s este grosimea tablelor de sudat, în mm;

$$I_s = j \cdot \frac{\pi \cdot d_e^{\ 2}}{4} \quad [\mathrm{A}] \ , \tag{6.86}$$

pentru oţeluri carbon obişnuite, în care j = 120...400 A/mm^2 la regimuri dure şi j = = 80…160 A/mm^2, la regimuri moi; d_e – diametrul vârfului electrozilor,

$$I_s = k \cdot \frac{\pi \cdot d_e^{\ 2}}{4} \cdot \frac{1}{\sqrt{t_s}} \quad [\mathrm{A}] \ , \tag{6.87}$$

în care k = (800…1000) A/mm^2 pentru oţelurile inoxidabile; k = (3000...4000) A/mm^2 pentru aliajele din aluminiu; k = (4000…5000) A/mm^2 pentru aluminiu; t_s – timpul de sudare;

$$I_s = 10 \cdot \sqrt{\frac{\sqrt{P}}{t_s}(1{,}5s + 1)} \quad [\text{A}] \tag{6.88}$$

pentru cupru şi aliajele de cupru, în care P este forța de apăsare, în daN.

- *timpul de sudare* t_s creşte cu grosimea pieselor de sudat astfel:

$$t_s = (0{,}1...0{,}2)s \quad [\text{s}] \tag{6.89}$$

pentru regimuri dure, în care s este grosimea tablelor de sudat, în mm;

$$t_s = (0{,}8...1{,}0)s \quad [\text{s}] \tag{6.90}$$

pentru regimuri moi;

- *forța de apăsare P* depinde de grosimea pieselor de sudat, starea locală a suprafețelor, caracterul dur sau moale al sudării şi de proprietățile de rezistență ale punctului realizat. Se calculează cu relațiile:

$$P = (50...250) \cdot s \quad [\text{daN}] \tag{6.91}$$

în care s este grosimea tablelor de sudat;

$$P = p \cdot \frac{\pi \cdot d_e^{\,2}}{4} \quad [\text{daN}] \tag{6.92}$$

în care p = (7…12) daN/mm^2 pentru oțeluri obişnuite; p = (13…25) daN/mm^2 pentru oțeluri inoxidabile; p = (7…12) daN/mm^2 pentru aluminiu şi aliajele sale;

- *diametrul vârfului electrodului* d_e, influențează rezistența punctului realizat şi se calculează cu relațiile:

$$d_e = 2s + 3 \quad [\text{mm}] \tag{6.93}$$

pentru grosimi $s < 3{,}0$mm;

$$d_e = 5s \quad [\text{mm}] \tag{6.94}$$

pentru grosimi $s \geq 3{,}0$mm;

Diametrul electrodului D, se determină folosind relația:

$$D = 1{,}5d_e \quad [\text{mm}] \tag{6.95}$$

în care d_e este diametrul vârfului electrodului, în mm.

Diametrul punctului sudat variază în funcție de regim şi de grosimea tablelor şi ia valori între 3 şi 12mm, fiind aproximativ egal cu diametrul vârfului electrozilor. Dacă piesele diferă între ele prin material sau dimensiuni (grosimi diferite), rezultă un proces termic nesimetric la sudare, care conduce la obținerea unui punct asimetric (pătrunderea este mai mare în tabla mai groasă sau mai puțin conductoare).

4 - *Alegerea utilajului pentru sudare*. Construcţia maşinilor de sudat prin puncte este foarte diferită, aceasta depinzând de destinaţia maşinilor, numărul de puncte realizate simultan, modul de acţionare, gradul de automatizare, după mobilitate, după alimentare, după gabarit, după sursa de curent şi chiar după productivitate.

La alegerea maşinii de sudat prin rezistenţă în puncte trebuie ţinut cont de următoarele:

- să asigure energia necesară realizării îmbinării sudate;
- să permită fixarea pieselor în poziţie convenabilă în vederea sudării;
- să menţină piesele în poziţia corespunzătoare şi să dezvolte forţa mecanică necesară realizării punctului sau punctelor de sudură;
- să execute unele operaţii mecanizat, automatizat, să comande, să regleze şi să măsoare parametrii regimului de sudare.

5 - *Execuţia sudării propriu-zise* presupune succesiunea logică a următoarelor faze (fig. 6.111):

- aşezarea pieselor pe electrodul inferior (fig. 6.111. a);
- prinderea şi presarea pieselor între cei doi electrozi (fig.6.111. b);
- conectarea curentului şi ajungerea la starea plastică sau chiar la topire în zona de contact dintre cele două piese (fig. 6.111. c);
- deconectarea curentului şi răcirea punctului sub presiune, pentru ca acesta să capete consistenţă (fig. 6.111. e);
- desfacerea electrozilor şi scoaterea pieselor sudate.

6 - *Controlul final al îmbinării* constă în depistarea eventualelor defecte ce au apărut în urma procesului de sudare: *lipsa nucleului topit sau nucleu prea mic; expulzări de material topit; punct ars; amprentă adâncă; retasuri şi pori etc*. Controlul se face optico–vizual sau control nedistructiv cu radiaţii permanente, lichide penetrante, pulberi magnetice sau analiză termografică. Uneori, se fac şi încercări de forfecare a punctului, pentru îmbinări sudate pretenţioase.

6.10.2.3. Sudarea prin presiune prin rezistenţă în linie

Se deosebeşte de sudarea prin presiune prin rezistenţă în puncte prin aceea că electrozii sunt înlocuiţi de nişte role de contact, iar punctele de sudură sunt parţial suprapuse, formând o cusătură etanşă (fig.6.112). Pe piesele de sudat 1 şi 2 sunt apăsate cu o forţă *P*, rolele – electrozi 3 şi 4, legate în secundarul unui transformator de sudare 5, puternic coborâtor de tensiune (de la 220 – 380V la 110V), ce asigură un curent de 1 000...100 000A. Sudura se realizează datorită efectului termic al curentului electric şi rezistenţei mari de contact între cele două piese unde se formează puncte parţial suprapuse, ce formează cusătura sudată 6 (fig.6.112. a) sau cusăturile sudate paralele 6 şi 6′ (fig.6.112. b).

În funcţie de schema cinematică, configuraţia geometrică a pieselor şi productivitate se deosebesc două variante:

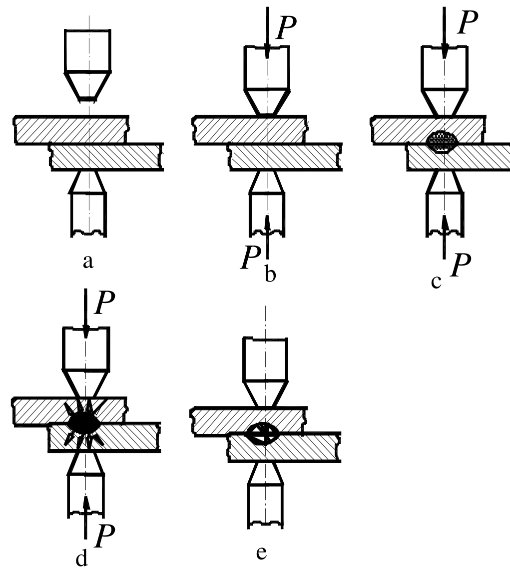


Fig. 6.111. Fazele sudării prin rezistență în puncte:
a – aşezarea pieselor; b – presarea şi realizarea contactului intim; c – conectarea curentului; d – deconectarea curentului şi răcirea sub presiune, e – desfacerea electrozilor şi formarea punctului de sudură.

- *sudarea în linie din două părți* (fig.6.112. a) cu formarea unei singure cusături sudate, unde piesele de sudat se introduc între cele două role – electrod;

- *sudarea în linie dintr-o parte* (fig. 6.112. b) cu formarea a două cusături sudate paralele, unde cele două role electrod se aşează la distanțe corespunzătoare pe piesele de sudat. În acest caz se foloseşte un contra-electrod confecționat de obicei din cupru, închiderea circuitului făcându-se atât prin piesa superioară şi inferioară, cât şi prin contra-electrod (circuitele I, II şi III).

Cel puțin una din rolele-electrod este antrenată mecanic, ambele sunt răcite forțat şi presate cu forța *P* asupra pieselor de sudat. Datorită frecării de contact role-piesă are loc deplasarea pieselor (fig. 6.112. a) sau a rolelor-electrod (fig. 6.112. b) cu viteza de sudare v_s.

Cusătura sudată ce se poate obține este influențată de modul cum se corelează curentul de sudare I_s, forța de apăsare *P* şi viteza de sudare determinată de distanța *L*, parcursă în timpul sudării, existând următoarele posibilități:

- *rotirea continuă a rolelor sub presiune constantă şi menținerea constantă a curentului de sudare* (fig. 6.113. a) cu formarea unei cusături sudate în linie continuă;

- *rotirea continuă a rolelor sub presiune constantă şi deconectarea periodică a curentului electric* (fig. 6.113. b) cu formarea unei cusături sudate în linie din puncte alăturate;

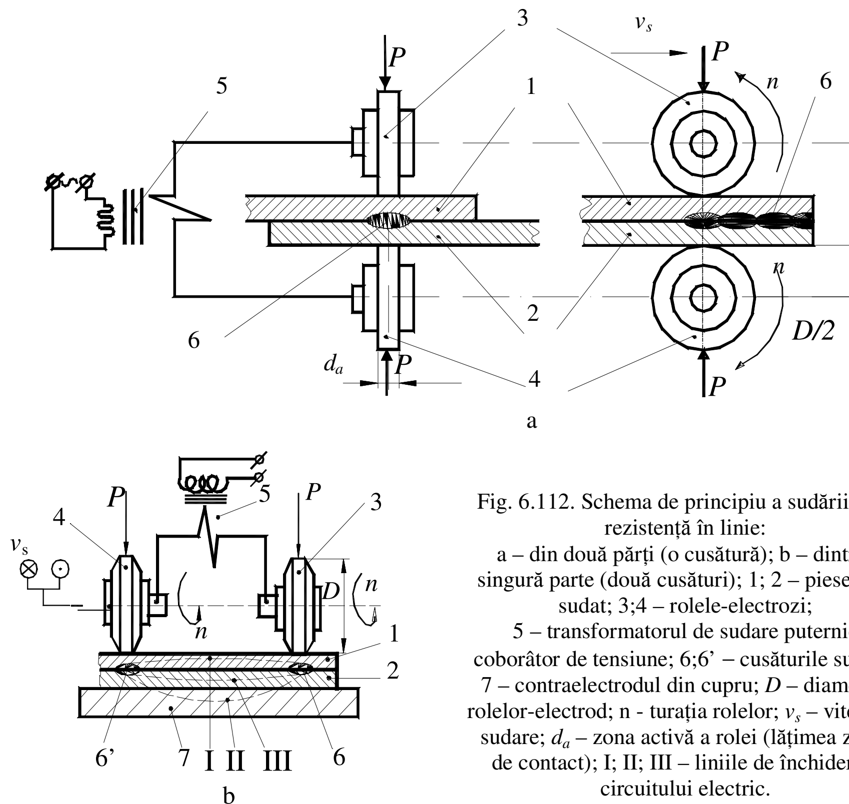


Fig. 6.112. Schema de principiu a sudării prin rezistență în linie:
a – din două părți (o cusătură); b – dintr-o singură parte (două cusături); 1; 2 – piesele de sudat; 3;4 – rolele-electrozi; 5 – transformatorul de sudare puternic coborâtor de tensiune; 6;6' – cusăturile sudate; 7 – contraelectrodul din cupru; D – diametrul rolelor-electrod; n - turația rolelor; v_s – viteza de sudare; d_a – zona activă a rolei (lățimea zonei de contact); I; II; III – liniile de închidere a circuitului electric.

- rotirea rolelor în contratimp cu conectarea curentului electric sub presiune constantă (fig. 6.113. c) cu formarea unei cusături în paşi;

- rotirea continuă a rolelor şi modularea curentului prin variația presiunii (fig. 6.113. d) cu formarea unei cusături sudate în linie, din puncte parțial suprapuse.

Procedeul se aplică pentru realizarea de îmbinări sudate mai compacte şi de rezistență mai mare decât cele realizate prin rezistență în puncte şi mai ales la realizarea îmbinărilor de etanşeitate (rezervoare de automobile, avioane, autocamioane, țevi îndoite, ambalaje etanşe, radiatoare, jenți, căni, recipienți etc.).

Se sudează table din oțel carbon obişnuit, oțel austenitic NiCr, cupru şi aliajele sale, aluminiu şi aliaje şi altele, a căror grosime suprapusă nu depăşeşte 10mm.

Tehnologia sudării prin rezistența în linie este asemănătoare cu cea de la sudarea prin rezistență în puncte, deosebirile existente fiind legate doar de schema de lucru, utilajul folosit şi tipul îmbinării. Principalele operații ce trebuie parcurse sunt:

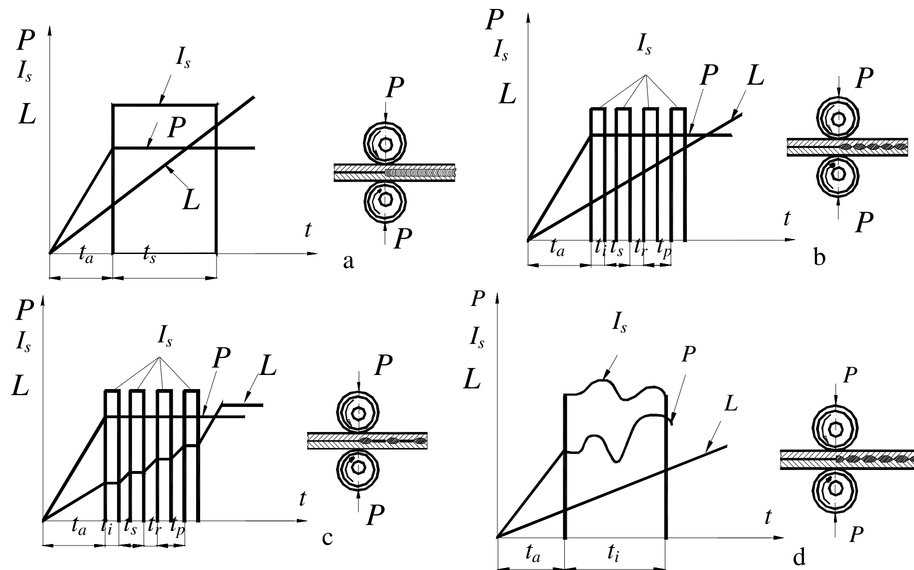


Fig. 6.113. Diferite scheme de lucru la sudarea în linie din ambele părți:
a – în linie continuă; b – în linie, cu întreruperea periodică a curentului; c – în paşi cu oprire; d – cu modularea curentului ; *P* – forța de apăsare; I_s – curentul de sudare; *L* – distanța parcursă în timpul sudării; t_a – timpul de realizare a contactului intim*;* t_s – timpul de sudare; t_r – timpul de deconectare a curentului; t_p – pasul ; t_i – timpul de închidere a circuitului electric.

1 - *Pregătirea pieselor în vederea sudării* constă în curățirea suprafețelor ce se suprapun de orice fel de murdărie, grăsimi, oxizi, vopsele etc. Curățirea suprafețelor se face pe cale mecanică folosiind perii de sârmă, perii circulare sau pe cale chimică;

2 - *Controlul inițial al pieselor de sudat* are drept scop depistarea eventualelor defecte existente în tablele de sudat. Se face un control optico–vizual şi un control nedistructiv (cu ultrasunete, cu pulberi magnetice, cu lichide penetrante etc.);

3 - *Stabilirea parametrilor regimului de sudare.* Pentru obținerea unei cusături sudate de bună calitate trebuie aleşi şi corelați corespunzător următorii parametri:

- *curentul de sudare* I_s se alege de 1,5…2,0 ori mai mare decât la sudarea prin rezistență în puncte, pentru aceeaşi grosime de sudat şi acelaşi material. Curentul de sudare optim se alege puțin mai mic decât curentul la care apar împroşcările de metal topit;

- *forța de apăsare a rolelor-electrod P* se alege cu 10...30% mai mare decât la sudarea prin rezistență în puncte;

- *intermitența curentului de sudare* se alege în funcție de schema de lucru aleasă, de varianta de corelație a parametrilor, de natura materialelor de sudat şi

grosimea pieselor de sudat. Se recomandă raportul t_i/t_p (fig.6.113) la următoarele valori:

t_i/t_p = 0,4…0,6, pentru oțelurile moi; (6.96)

t_i/t_p = 0,3...0,5, pentru oțelurile austenitice; (6.97)

t_i/t_p = 0,3...0,45, pentru metalele şi aliajele neferoase; (6.98)

- *viteza de sudare* v_s se alege în funcție de grosimea pieselor de sudat, schema de lucru aleasă, natura îmbinării sudate, natura materialelor de sudat şi productivitate. În general viteza de sudare variază între 0,5…3,0 m/min;

- *pasul dintre două puncte* se alege în funcție de natura cusăturii sudate (etanşă, neetanşă, puncte alăturate etc.), grosimea pieselor de sudat şi partea activă a rolelor. Se recomandă ca acest pas să fie mai mic de (0,5...0,7)d_a (d_a – partea activă a rolelor–electrod). Pasul nu este limitat superior dacă nu se cere o cusătură etanşă;

- *diametrul rolelor – electrod D* se alege în funcție de schema de lucru adoptată, tipul şi caracteristicile maşinii de sudat şi tipul îmbinării. Se recomandă ca diametrul rolelor–electrod să fie 150...350mm;

- *lățimea zonei active a rolelor–electrod* d_a se alege în funcție de secțiunea tablelor ce se sudează, natura materialelor de sudat şi tipul îmbinării. Pentru obținerea unei cusături de calitate, zona activă a rolelor–electrod se ia:

$$d_a = 2s + 2{,}0 \quad [\text{mm}] \tag{6.99}$$

în care s este grosimea tablelor ce se sudează, în mm.

Rolele se confecționează din acelaşi material cu electrozii de sudare folosiți la sudarea prin rezistență în puncte.

4 - *Alegerea utilajului pentru sudare* se face în funcție de tipul îmbinării sudate, schema de lucru, tipul pieselor de sudat şi caracteristicile acestora. Se deosebesc: *maşini cu destinație generală* (pentru sudarea cusăturilor longitudinale sau transversale cu două role, sudarea tablelor foarte subțiri cu energie înmagazinată, sudarea continuă a tablelor din oțel, pentru sudarea întreruptă, pentru sudarea în paşi a pieselor din aliaje uşoare, pentru sudarea cu impulsuri de curent continuu etc.) şi *maşini cu destinație specială* (pentru sudat țevi, pentru confecționat ambalaje metalice, pentru sudarea în capete a tablelor, pentru sudarea obezilor de roți de bicicletă, pentru sudarea jenților auto etc.).

5 - *Execuția sudării propriu–zise* presupune succesiunea logică a aceloraşi faze ca la sudarea prin rezistență în puncte cu deosebirea că în locul electrozilor de sudare apar rolele–electrod şi mişcarea de rotație a acestora;

6 - *Controlul final al îmbinării sudate* presupune depistarea eventualelor defecte ce au apărut în urma procesului de sudare, care sunt aceleaşi ca la sudarea prin rezistență în puncte, apărând în plus lipsa de etanşeitate în cazul anumitor îmbinări. Pentru depistarea defectelor se fac aceleaşi categorii de încercări şi în plus încercarea de etanşeitate.

Variante ale sudării prin rezistență în linie. În funcție de configurația geometrică a pieselor de sudat, de destinația produsului şi de productivitatea dorită există mai multe variante ale procedeului, deosebindu–se:

- *sudarea pe generatoare a țevilor* (fig. 6.114) unde cusătura sudată se formează treptat pe întreaga secțiune a marginilor piesei 1 aduse în contact. Piesa de sudat 1 (țeava îndoită) se obține dintr–o platbandă debitată la dimensiunile corespunzătoare, care este trecută prin rolele de formare 2 şi 3 antrenate fiind de rola antrenoare 4.

Pe țeava astfel îndoită şi cu marginile prelucrate, corespunzător rostului îmbinării, se deplasează rolele–electrod 5 şi 6, izolate între ele 7 şi legate în secundarul transformatorului de sudare 8. Se formează în acest mod o cusătură sudată 9, continuă pe generatoarea unei țevi din oțel carbon, cu grosimea de 0,5...15mm şi diametrul de 10…400mm;

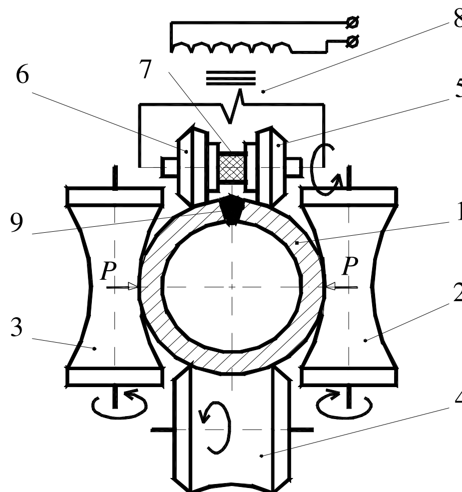


Fig. 6.114. Schema de principiu la sudarea pe generatoare a țevilor:
1 – țeavă; 2, 3 – role de formare a țevii; 4 – rolă antrenoare; 5, 6 – role–electrod; 7 – izolație; 8 – transformator de sudare; 9 – cusătura sudată.

- *sudarea în linie cu material de adaos* (fig.6.115) este o sudare cap la cap fără o suprapunere a celor două piese de sudat 1 şi 2. Cele două piese de sudat pregătite corespunzător se aşează cap la cap şi în dreptul rostului se plasează materialul de adaos sub formă de platbandă 3 şi 4. Materialul de adaos este apăsat cu forța P de rolele–electrod 5 şi 6 legate în secundarul transformatorului de sudare 7. Piesele de sudat sunt presate la capete cu o forță $P_a > P$, de către rolele auxiliare 8, 8′ şi 9, 9′. Datorită efectului termic al curentului electric şi dilatării marginilor în zona de contact mai apare o forță de deformare P_d care împreună cu forța P realizează chiar o forjare a cusăturii sudate.

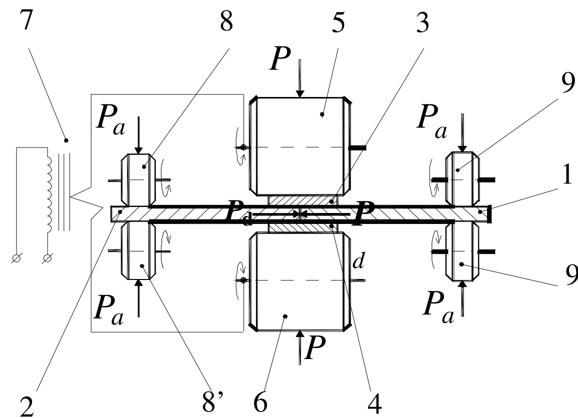


Fig. 6.115. Schema de principiu la sudarea în linie cu material de adaos:
1; 2 – piesele de sudat; 3; 4 – materialul de adaos sub formă de platbandă; 5;6 – rolele–electrod;
7– transformatorul de sudare; 8; 8′; 9; 9′ - role auxiliare.

6.10.2.4. Sudarea prin presiune cu energie electrică prin inducție

La acest procedeu, cantitatea de căldură necesară aducerii materialului în stare plastică este asigurată de inductoare electrice, de forme constructive diferite, corespunzătoare scopului propus. Aceste inductoare sunt parcurse de curenţi de înaltă frecvență (2 000...10^6 Hz) care induc în material curenţi de aceeaşi frecvență, dezvoltând căldura necesară realizării sudării prin efectul Joule şi prin curenţii Foucault. În momentul în care materialul a ajuns în stare plastică se aplică o forţă de refulare corespunzătoare cu natura şi grosimea materialelor de sudat. Încălzirea materialului prin inducție se face neuniform datorită *efectului pelicular*. Din cauza acestui efect rezultă o neuniformitate corespunzătoare a repartiției încălzirii inductive, grosimea stratului de suprafață δ, în care se degajă aproximativ 90% din întreaga căldură fiind, dată de relația:

$$\delta = k \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f}} \quad , \qquad (6.100)$$

în care k este factorul de proporționalitate; ρ - rezistivitatea; μ - permeabilitatea magnetică a metalului; f – frecvența.

Schema de principiu a sudării cap la cap a țevilor din oțel cu mai puțin de 0,25%C, folosind acest procedeu, se prezintă în fig. 6.116.

Procedeul se aplică şi la fabricarea conductorilor bimetalici constituiți din combinații de materiale, fabricarea plăcilor bimetalice, sudarea aripioarelor pe conducte la răcitoare, sudarea schimbătoarelor de căldură, sudarea radiatoarelor cu aripioare şi sudarea de inele din oțel sau metale neferoase pe piese cilindrice din oțel.

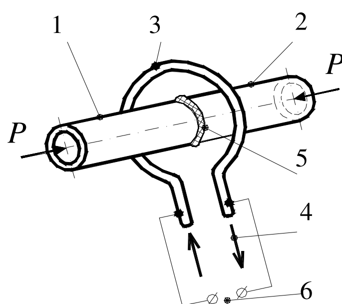


Fig. 6.116. Schema de principiu la sudarea prin presiune cu energie electrică prin inducție: 1; 2 – piesele de sudat; 3 – inductor de înaltă frecvență; 4 – răcire cu apă; 5 – cusătura sudată; 6 – sursa de curent; *P* – forța de refulare.

6.10.2.5. Sudarea prin presiune cu energie înmagazinată

Procedeul foloseşte pentru sudare energia electrostatică acumulată în condensatoare electrice sau în acumulatoare, precum şi energia electromagnetică înmagazinată în câmpul magnetic al unei bobine la tensiuni de 3...12kV.

Schema de principiu a sudării cu energie electrostatică acumulată în condensatoare electrice se prezintă în figura 6.117. Când comutatorul k se găseşte pe poziția „I” (încărcare), se încarcă de la sursa de curent continuu 1, cu capacitatea *C*, iar la trecerea pe poziția „D” (descărcare), cantitatea de energie acumulată în condensatorul *C* se descarcă pe transformatorul de sudare 2, sub forma unui curent de descărcare. Sudarea pieselor 3 şi 4 se produce sub acțiunea curentului indus în secundarul transformatorului şi a forței de presare *P*.

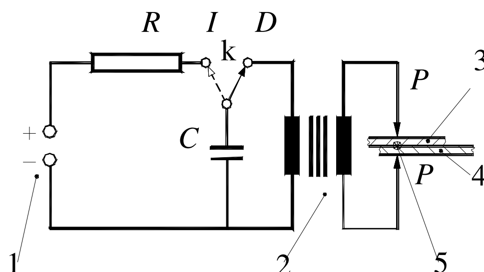


Fig. 6.117. Schema de principiu la sudarea cu energie electrostatică acumulată în condensatoare electrice: 1 – sursa de curent continuu; 2 – transformator de sudare; 3, 4 – piese de sudat; 5 – sudura realizată; *P* – forța de apăsare; *R* – rezistență electrică.

Schema de principiu a sudării cu energie înmagazinată în câmp magnetic este prezentată în fig. 6.118.

La întreruperea curentului primar al transformatorului de sudare 1, apare o descărcare de tensiune în secundarul transformatorului care produce energia necesară sudării pieselor 3 şi 4 apăsate cu forța *P*.

Deoarece în timpi foarte scurți se dezvoltă energii foarte mari, procedeul se utilizează la realizarea de cusături sudate foarte fine pentru piese din industria

optică, mecanică fină, electronică, electrotehnică etc. Se sudează aproximativ toate materialele sub formă de table suprapuse cu grosimi de până la 10mm şi sârme cu diametrul mai mic de 1mm.

Procedeul prezintă următoarele avantaje: nu se produc pierderi de căldură prin disipare; timpul de sudare este foarte scurt (1/50…1/500s); randamentul destul de ridicat (≥50%); nu necesită răcirea electrozilor; nu se poate suda fără a utiliza gaze protectoare şi sudura are dimensiuni uniforme.

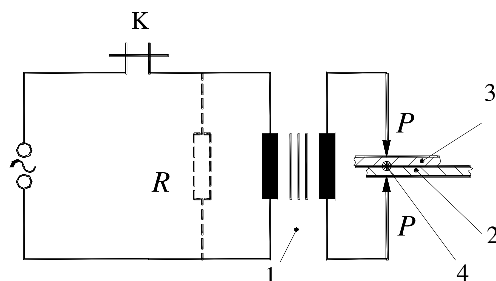


Fig. 6.118. Schema de principiu la sudarea cu energie înmagazinată în câmp magnetic: 1 – transformatorul de sudare; 2; 3 – pieselele de sudat; 4 – sudura realizată; K – contactor; *R* – rezistenţă electrică.

6.10.2.6. Sudarea prin presiune cu arc electric rotitor

Procedeul foloseşte pentru realizarea sudurii un arc electric ce se amorsează între capetele pieselor de sudat, aflate la o distanţă corespunzătoare şi legate la un generator de sudare de curent continuu. Capetele pieselor de sudat sunt îmbrăcate în două bobine legate în serie cu circuitul de sudare. Cele două bobine determină o mişcare de rotaţie a arcului electric. Schema de principiu a procedeului se prezintă în fig. 6.119. În prima fază, arcul electric 1 se aprinde şi se stinge în mod repetat între capetele pieselor de sudat 2 şi 3, legate la generatorul de sudare

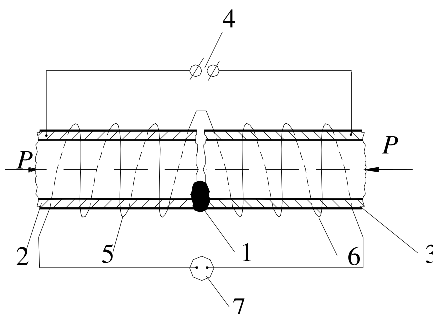


Fig. 6.119. Schema de principiu la sudarea prin presiune cu arc electric rotitor: 1 – arcul electric; 2, 3 – piesele de sudat; 4 – sursa de sudare; 5 ; 6 – bobine; 7 – sursa de curent.

de curent continuu 4. Bobinele 5 şi 6, legate la sursa de curent 7, determină mişcarea de rotație a arcului, acesta fiind rotit între capetele pieselor de sudat, până când capetele pieselor se topesc sau ajung în stare plastică. În acest caz se aplică o forță de refulare *P*, care realizează deformarea plastică necesară sudării.

Procedeul se aplicată la sudarea țevilor de diametru mare şi a barelor rotunde rezultând îmbinări de bună calitate cu o rezistență şi o reziliență bune.

6.10.3. Sudarea prin presiune cu energie mecanică

La acest procedeu îmbinarea sudată se realizează sub acțiunea unor forțe mecanice aplicate continuu sau în impulsuri care conduc la deformarea plastică a zonelor de îmbinat şi apropierea atomilor marginali de pe suprafețele pieselor de îmbinat la distanțe mai mici decât distanțele interatomice. Deformarea plastică a zonelor de îmbinat este uşurată de încălzirea locală a locului îmbinării, încălzire ce poate fi făcută prin diverse metode. Cele mai dese întâlnite procedee sunt:

6.10.3.1. Sudarea prin presiune prin deformare plastică la rece

Depinde în cea mai mare măsură de plasticitatea pieselor de îmbinat şi de starea suprafețelor în contact. După tipul cusăturii se disting două variante:

- *sudarea în capete* (fig. 6.120) unde piesele de sudat 1 şi 2 se prind în dispozitivele speciale 3 şi 4. Cu ajutorul acestor dispozitive, piesele se presează în zona de îmbinare cu presiuni mari (de exemplu 800...1 000 N/mm^2 la aluminiu, 1 000...1 200 N/mm^2 la cupru etc.) până când straturile din vecinătatea suprafețelor în contact sunt refulate radial şi umplu cavitatea de îngroşare 5, formând îmbinarea sudată. Bavura ce apare ca urmare a refulării este îndepărtată cu ajutorul cuțitului circular 6.

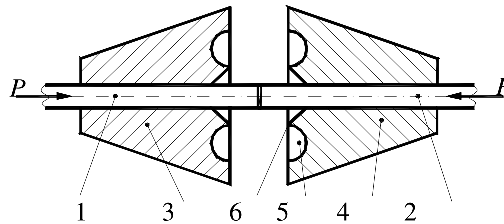


Fig. 6.120. Schema de principiu la sudarea prin presiune prin deformare plastică la rece în capete: 1; 2 – piesele de sudat; 3; 4 – mandrine speciale; 5 - cavitate de îngroşare; 6 – muchie ascuțită (cuțit circular).

Deformarea plastică necesară este cu atât mai mică cu cât suprafețele ce se aduc în contact sunt mai fin prelucrate şi cu cât ele sunt mai curate. Procedeul se aplică la sudarea sârmelor, barelor, benzilor, țevilor şi profilelor din materiale cu plasticitate ridicată putându–se îmbina şi piese din materiale diferite;

- *sudarea prin suprapunere* (fig. 6.121) unde piesele de sudat 1 şi 2 pot fi îmbinate în puncte sau în linie. La *sudarea în puncte* (fig. 6.121. a) deformarea plastică în zona de îmbinat se realizează cu poansoanele 3 şi 4 care realizează şi presiunea p_1, necesară apropierii atomilor de suprafaţă până la formarea legăturilor reciproce. Realizarea punctelor în zona dorită se face folosind inelele de reţinere 5 şi 6, care exercită o presiune de împiedicare a deformării plastice de jur împrejurul poansoanelor de presare. La *sudarea în linie* (fig. 6.121. b), în locul poansoanelor de presare se folosesc rolele de presare 7 şi 8 de construcţie specială. Aceste role au o suprafaţă activă cu o nervură centrală 9, ce exercită presiunea de sudare p_1, şi treptele auxiliare 10 şi 11, ce exercită presiunea de împiedicare a deformării plastice p_2, în altă zonă decât cea prevăzută.

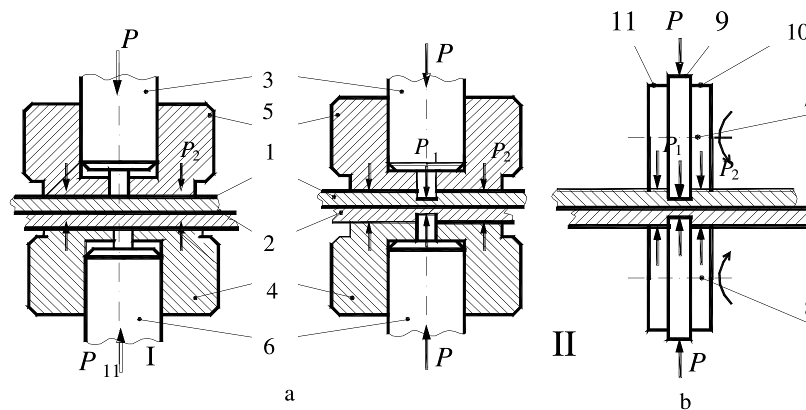


Fig. 6.121. Schema de principiu la sudarea prin presiune prin deformare plastică la rece: a – la sudarea în puncte; b – la sudarea în linie: I – înainte de presare; II – după presare şi sudare; 1; 2 – piesele de sudat; 3; 4 – poansoanele de presare; 5; 6 – inele de reţinere; 7; 8 – role de presare; 9 – suprafaţă activă; 10; 11 – suprafeţe auxiliare.

Procedeul se aplică la sudarea tablelor din metale cu plasticitate ridicată confecţionate din acelaşi material sau din materiale diferite (aluminiu + plumb, aluminiu + staniu, aluminiu + fier, aluminiu + alamă, cupru + nichel, cupru + alamă, cupru + staniu, cupru + zinc, cupru + oţel austenitic etc.) cu grosimi de 0,2…1,5mm.

6.10.3.2. Sudarea prin presiune cu energie mecanică prin frecare

Procedeul foloseşte pentru realizarea îmbinării sudate căldura produsă prin frecarea suprafeţelor în contact ale pieselor ce se sudează. Încălzirea suprafeţelor în contact se poate realiza:

- *prin rotirea unei piese faţă de alta* (fig. 6.122. a);
- *prin rotirea în sens contrar a ambelor piese* (fig. 6.122. b);

- *prin rotirea unei piese intermediare introdusă între piesele de sudat care sunt fixe* (fig. 6.122. c);

- *prin deplasarea rectilinie alternativă a unei piese faţă de cealaltă* (fig.6.122. d).

În comparaţie cu procedeul de sudare prin presiune cap la cap, la sudarea prin frecare căldura este concentrată numai pe suprafeţele în contact, adică în zona în care se produce îmbinarea, de aceea zona influenţată termic este mult mai mică. De asemenea, cantitatea de căldură necesară încălzirii suprafeţelor este de două ori mai mică decât la sudarea prin presiune cap la cap.

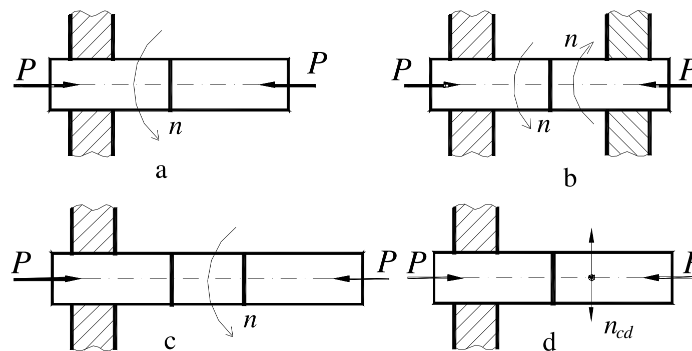


Fig. 6.122. Schema de principiu la sudarea prin frecare:
a – prin rotirea unei piese în raport cu cealaltă; b – prin rotirea în sensuri contrare a ambelor piese; c – prin rotirea unei piese intermediare; d – prin deplasarea rectilinie alternativă a unei piese în raport cu cealaltă; *n* – turaţia; n_{cd} – numărul de curse duble pe minut.

Deoarece vitezele pieselor la periferie şi la centru sunt diferite, există pericolul ca sudura să nu se realizeze în centru, dar conductibilitatea termică şi procesul de redistribuire a căldurii pot conduce la o aceeaşi temperatură şi secţiune transversală a pieselor.

Schema de principiu a sudării prin frecare prin rotirea unei piese faţă de cealaltă piesă se prezintă în figura 6.123.

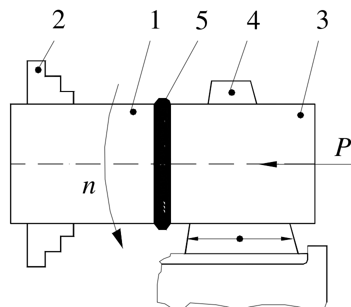


Fig. 6.123. Schema de principiu la sudarea prin frecare cu rotirea unei piese în raport cu cealaltă piesă:
1;3 – piesele de sudat; 2 – dispozitiv de prindere şi rotire, 4 – dispozitiv de fixare şi deplasare axială; 5 – zona de contact.

Piesa 1 se prinde în universalul 2 ce se roteşte cu turaţia *n*, iar piesa 3 se prinde în dispozitivul 4, care se poate deplasa axial. Piesa 1 se roteşte până când în zona de contact 5, datorită frecării, se ajunge la o temperatură corespunzătoare curgerii plastice a materialului. În acest moment se aplică o forţă de refulare *P*, concomitent cu desfacerea piesei 1 şi oprirea bruscă a mişcării de rotaţie.

Parametrii procesului de sudare prin frecare sunt: viteza relativă de frecare dintre cele două piese (turaţia n); durata încălzirii; natura materialului de sudat; starea suprafeţelor în contact şi forţa de refulare P.

Procedeul se recomandă foarte bine la sudarea pieselor cilindrice pline sau goale la interior, cu acelaşi diametru sau cu diametre diferite, din acelaşi material sau din materiale diferite (de exemplu, sudarea supapei de talerul ei, tijelor de corpul pistonului, sudarea cozilor sculelor aşchietoare de partea activă a acestora, sudarea capului hexagonal de corpul şuruburilor, sudarea conductoarelor electrice cu secţiuni de până la 120 mm^2, fabricarea de arbori, bare de direcţie şi transmisie etc.). Procedeul se aplică de asemenea la sudarea unor metale cu puncte de topire total diferite, de exemplu sudarea tantalului (cu punct de topire la 3 000°C) cu oţelul (punct de topire la 1 500°C).

6.10.3.3. Sudarea prin presiune cu ultrasunete

Dezvoltarea actuală a microelectrotehnicii şi microelectronicii are la bază în primul rând fizica semiconductorilor. Confecţionarea aparatelor cu semiconductori, cu circuite integrate, execuţia microschemelor şi a microcircuitelor este unul din domeniile de aplicabilitate largă a energiei ultrasonore, pentru realizarea unor îmbinări sudate de calitate, din materiale ca: aluminiul şi aliajele sale; oţelul şi combinaţiile sale; aurul; argintul; platina şi aliajele sale sub formă de folii (grosimea minimă de 4 μm) şi sub formă de fire (cu diametrul de 10…120μm); sticlă metalizată; ceramică; metalele refractare şi aliajele lor; nichelul şi plumbul cu thoriu fin dispersat etc. (tabelul 6.37).

Procesul de sudare cu ultrasunete are loc la o temperatură mult mai joasă decât temperatura de topire a materialului de îmbinat, de aceea nu poate fi vorba de o zonă influenţată termic ca la celelalte procedee de sudare şi, deci, nu există o modificare substanţială a proprietăţilor materialului în zona îmbinării. Sudarea cu ultrasunete se efectuează fără material de adaos, la fel ca şi sudarea prin rezistenţă electrică, îmbinarea realizându–se datorită unor fenomene legate sau accelerate de existenţa energiei ultrasonore ca: *difuzia, cavitaţia acustică şi absorbţia.* Deoarece sudarea se poate efectua la o distanţă oricât de mare de sursa de curent, procedeul îşi găseşte aplicabilitate la sudarea foliilor şi firelor subţiri între ele sau a acestora pe plăci sau piese cu grosime mai mare, la execuţia unor suduri în locuri greu accesibile, în construcţia aparatelor din industria electronică, electrotehnică, mecanică fină, tehnică medicală şi nucleară.

Pentru realizarea unor îmbinări sudate folosind energia ultrasonoră se folosesc mai multe scheme de principiu, în funcţie de tipul şi natura oscilaţiilor

Tabelul 6.37. *Schema posibilităților de sudare cu ultrasunete a diferitelor materiale şi combinațiile posibile*

Ag	Al	Au	Be	Co	Cu	Fe	Ge	Mg	Mo	Nb	Ni	Pd	Pt	Si	Sn	Ta	Ti	W	Zr	
X	X				X	X		X				X				X			X	Ag
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	Al
		X		X	X	X	X				X		X	X						Au
			X														X			Be
					X						X		X							Co
					X	X		X	X		X		X				X	X	X	Cu
						X			X	X	X		X				X	X	X	Fe
													X							Ge
								X												Mg
									X							X	X	X	X	Mo
																X				Nd
											X		X			X	X			Ni
												X	X							Pd
													X	X		X				Pt
														X		X			X	Si
															X					Sn
																X				Ta
																	X			Ti
																		X		W
																			X	Zr

ultrasonore, tipul şi natura îmbinării sudate sau natura materialelor de îmbinat, deosebindu–se:

- *sudarea cu oscilații longitudinale* (fig. 6.124. a), pentru materialele metalice şi combinațiile acestora;
- *sudarea cu oscilații longitudinale şi transversale* (fig.6.124. b), pentru materialele metalice şi nemetalice sau combinațiile lor;
- *sudarea cu oscilații de înconvoiere sau forfecare* (fig.6.124. c);
- *sudarea cu oscilații torsionale şi radiale* (fig.6.124. d), pentru cusături sudate în linie din materiale diferite;
- *sudarea cu oscilații longitudinale şi forță de apăsare în acelaşi sens cu direcția de oscilație* (fig. 6.124. e), pentru sudarea maselor plastice şi a combinațiilor unor mase plastice – metale.

Piesele de sudat 1 şi 2 se aşează pe nicovala acustică 3, fiind apăsate cu o forță *P* fie de către nicovală, fie de sonotrodul 4, fixat de concentratorul de energie ultrasonoră 5, excitat la rândul său de traductorul ultrasonor 6. Traductorul ultrasonor converteşte oscilațiile electrice ale generatorului de înaltă frecvență 7, în oscilații mecanice cu frecvență ultrasonoră (frecvență mai mare de 16 kHz, limita maximă audibilă a unui om otologic normal). Traductorul este în permanență răcit cu un sistem de răcire 8 şi izolat acustic 9. Întreaga instalație basculează cu ajutorul unui sistem 10 ce permite şi aplicarea forței de presare corespunzătoare.

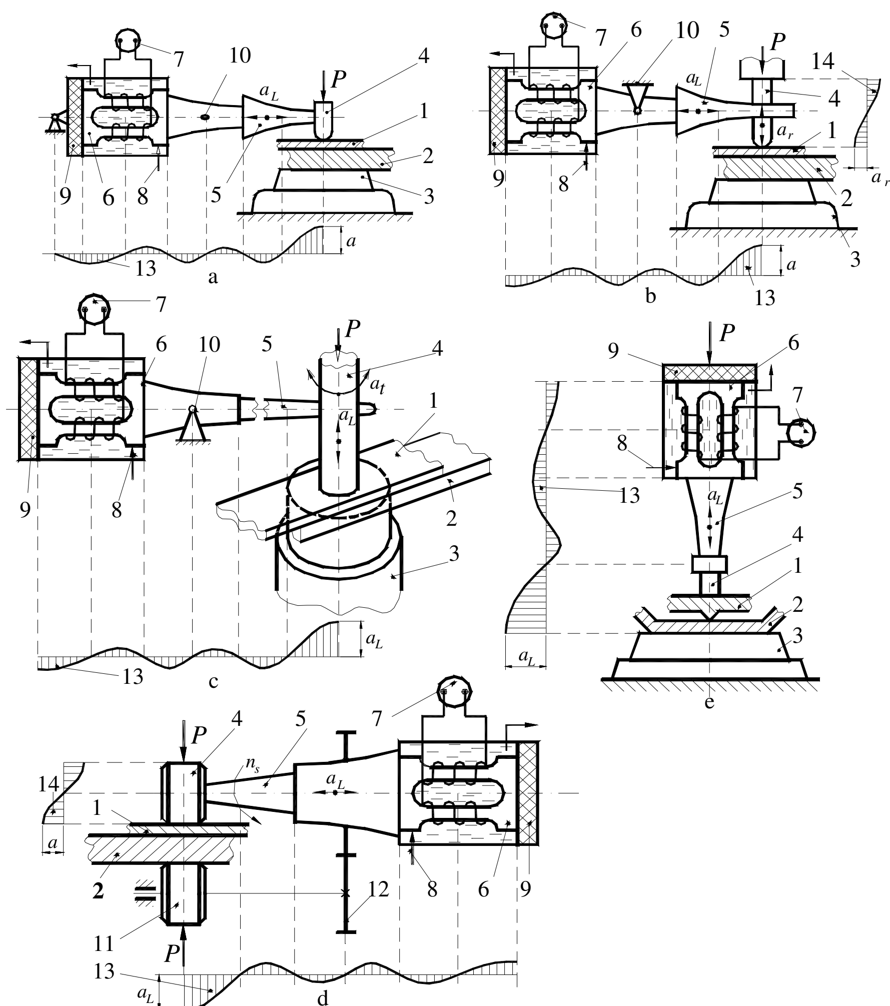


Fig. 6.124. Schema de principiu la sudarea cu ultrasunete:
a – cu oscilații longitudinale; b – cu oscilații longitudinale şi transversale; c – cu oscilații de înconvoiere sau forfecare; d – cu oscilații torsionale şi radiale pentru sudarea în linie; e – cu oscilații longitudinale şi forța de apăsare în acelaşi sens cu direcția de aplicare a forței: 1; 2 – piesele de sudat; 3 – nicovală acustică; 4 – sonotrod; 5 – concentrator de energie ultrasonoră; 6 – traductor ultrasonor; 7 –generator de ultrasunete; 8 – sistem de răcire, 9 – izolant acustic; 10 – sistem de basculare; 11 – role de presare; 12 – sistem de angrenare; 13; 14 – diagrama de variație a amplitudinii vitezei particulei la oscilațiile longitudinale şi respectiv la cele transversale.

La sudarea în linie (fig.6.124. d) mai apare contrarola presoare 11 şi sistemul de angrenare 12, ce permite şi rotirea sistemului ultraacustic. Întregul

sistem ultraacustic vibrează cu o amplitudine a oscilațiilor longitudinale a_L, dată de diagrama de variație 13 şi/sau a oscilațiilor radiale a_r, dată de diagrama 14.

Procesul formării îmbinării sudate este deosebit de complex, acțiunea ultrasunetelor fiind tradusă în următoarele efecte deosebit de importante:

- datorită fenomenului de cavitație acustică sunt distruse şi îndepărtate straturile de oxizi şi eliminate gazele din planul de separație;

- creşterea gradului de deformabilitate şi uşurarea procesului de deformare plastică a zonelor de îmbinat;

- absorbția energiei ultrasonore de către microrelieful în contact şi încălzirea locală a acestuia la temperaturi mai mari decât temperatura de recristalizare;

- datorită modului de propagare a undelor ultrasonore se creează condiții favorabile pentru transferarea materialului în micropori, prin accelerarea procesului de difuzie şi autodifuzie;

- o redistribuire a materiei solide în zona de contact ca rezultat al curgerii vâscoase şi al autodifuziei volumice şi a tensiunilor superficiale.

Calitatea unei îmbinări sudate cu ultrasunete depinde în mare măsură de o serie de parametri tehnologici, mecanici şi acustici dintre care se enumeră: condițiile acustice de formare a îmbinării; amplitudinea şi frecvența oscilațiilor ultrasonore; starea fizică a suprafețelor în contact; proprietățile fizico-chimice şi fizico-mecanice ale materialelor de îmbinat; intensitatea energiei ultrasonore; viteza de deformare plastică a materialelor ce se îmbină; presiunea de contact; tipul şi caracterul undei ultrasonore; durata procesului de activare cu ultrasunete şi alții. La sudarea cu ultrasunete a maselor plastice este deosebit de important modul repartizării energiei ultrasonore introdusă față de suprafețele de îmbinat, deosebindu-se două metode:

- *sudarea în câmp „apropiat”,* când sonotrodul este cât mai apropiat de zona de îmbinare (se foloseşte la sudarea maselor plastice moi, cum ar fi: polietilena, PVC plastifiat şi altele cu grosime de 0,05…1,5mm);

- *sudarea în câmp „îndepărtat”,* când sonotrodul se aplică într–un punct sau pe o mică porțiune a suprafeței piesei superioare, iar îmbinarea sudată este realizată departe de sonotrod, plasată în maximul de undă al transmiterii energiei ultrasonore (se recomandă la sudarea materialelor plastice dure ca, polistirenul, polimetacrilatul şi altele).

În industria constructoare de maşini sudarea cu ultrasunete se aplică cu succces la următoarele materiale: aluminiul şi aliajele sale cu grosimi de până la 4,0 mm, cuprul şi aliajele sale cu grosimi până la 1,5 mm, fierul şi aliajele sale cu grosimi de până la 1,0 mm, aurul, argintul, platina şi aliajele lor fie sub formă de folii cu grosimea minimă de 4,0 μm, fie sub formă de fire cu diametrul minim de 12,0 μm; materialele refractare (Mo, Co, Ta, W şi aliajele lor); Be; Re cu grosimi până la 0,75mm; nichelul, plumbul şi aliajele lor, sticla metalizată şi materialele ceramice. În industria microelectronică se realizează îmbinări de calitate de tipul

Au – Au, Au – Al, Al – Al din fire sau folii; joncțiuni p – n cu proprietăți omogene; condensatori vidați, termocuple (fier–constantan pe aluminiu, titan, oțel etc.), microrelee electromagnetice şi altele. În industria alimentară, medicală, farmaceutică se realizează ambalaje din foițe de aluminiu sau cupru cu diferite destinații. Ca aplicație de perspectivă pentru sudarea cu ultrasunete o reprezintă tehnologiile cosmice şi nucleare, îndeosebi de folosire a unor materiale speciale, greu sau chiar imposibil de sudat prin alte procedee.

6.10.3.4. Sudarea prin difuzie

Are la bază, în principal față de celelalte procedee de sudare, *fenomenul de migrare şi difuzie* a atomilor suprafețelor în contact, în acest mod realizându-se integritatea materiei în zona de contact. Pentru a se realiza o îmbinare sudată de bună calitate trebuie ca suprafețele în contact să fie bine curățate, să fie presate până la curgerea plastică în locul unde are loc îmbinarea şi menținute la o anumită temperatură (0,6…0,8 din temperatura de topire a pieselor de îmbinat). Schema de principiu a procedeului se prezintă în figura 6.126. Piesele de sudat 1 şi 2 curățite perfect în zona de contact se aşează pe dispozitivul de lucru 3, în camera vidată 4, răcită în permanență de sistemul de răcire 5. Piesele se încălzesc la temperatura corespunzătoare cu sistemul deîncălzire 6 şi sunt presate de platoul 7, acționat de tija 8, a pistonului 9, ce funcționează în cilindrul 10, sub acțiunea aerului comprimat 11.

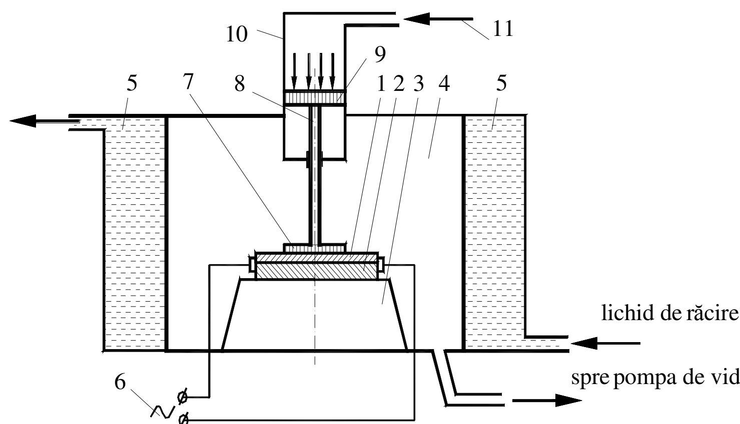


Fig. 6.126. Schema de principiu la sudarea prin difuzie în vid:
1;2 – piesele de sudat; 3 – dispozitivul de susținere; 4 – camera vidată; 5 – sistemul de răcire; 6 – sistemul de încălzire; 7 – platou; 8 – tijă; 9 – piston; 10 – cilindru; 11 – aer comprimat.

Principalii parametri ai regimului de sudare sunt: natura materialului de îmbinat; temperatura la care se găsesc piesele la locul de îmbinare; presiunea

exercitată asupra pieselor; timpul de menținere în contact; condițiile de vid ($10^{-2}...10^{-3}$ torr) şi grosimea pieselor de sudat. Uneori, se poate utiliza un material de adaos pentru a schimba fie natura, fie concentrarea elementelor difuzate la suprafața de contact.

Avantaje:

- deformații termice reduse;
- lipsa tensiunilor interne;
- posibilități de asamblare a pieselor pe suprafețe mari;
- absența fisurilor;
- posibilități de sudare a numeroase combinații de materiale;
- continuitate metalurgică în zona de îmbinare.

Dezavantaje:

- optimizarea foarte greoaie a parametrilor regimului de sudare;
- controlul foarte dificil al îmbinării sudate;
- obținerea unor legături defectoase la periferia sudurii.

Utilizare. Procedeul se aplică la sudarea unei game foarte largi de materiale: oțeluri slab aliate, oțeluri inoxidabile cu 0,5%Ti şi Al, combinații ale aluminiului cu alte metale şi aliaje (Al + Cu, Al + oțel inoxidabil etc.), precum şi la alte materiale total diferite. Se realizează prin acest procedeu panouri, racorduri de tubulatură, componente electronice şi electrotehnice, pale de elicopter, condensatoare pentru aparate frigorifice, elemente de radiatoare pentru tractoare şi maşini agricole, schimbătoare de căldură, ansambluri piston – fustă din materiale diferite etc.

6.10.3.5. Sudarea prin explozie

Foloseşte energia rezultată în urma detonării unei încărcături explozive şi deformarea cu viteze foarte mari, ca urmare a undei de şoc create prin detonare. Schema de principiu a procedeului se prezintă în figura 6.127.

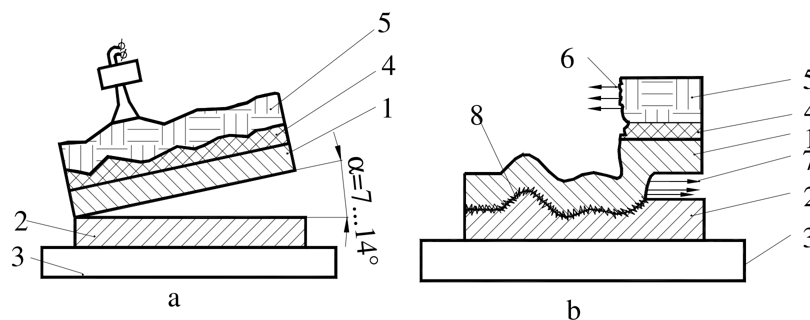


Fig. 6.127. Schema de principiu la sudarea prin explozie:
a – etapa inițială; b – formarea cusăturii sudate; 1;2 – piese de sudat; 3 – placă suport; 4 – amortizor; 5 - exploziv; 6 – undă de şoc; 7 – suflul exploziei; 8 – îmbinarea sudată rezultată.

Piesa de sudat 1 se aşează faţă de piesa suport 2 (aşezată pe placa 3) sub un unghi ascuţit α = 7…14°. Pe piesa de sudat se aşează un material absorbant 4 şi peste acesta stratul de exploziv 5 (fig.6.127. a). Amorsarea exploziei se face cu ajutorul unei capse şi unda de şoc 6, provocată de explozie va proiecta cu viteză foarte mare piesa de sudat 1, peste piesa suport. Ca urmare a suflului exploziei 7, are mai întâi loc o curăţire perfectă a suprafeţelor în contact, iar datorită vitezelor de impact foarte mari se creează presiuni de contact foarte mari, presiuni ce fac ca materialele să curgă plastic unul faţă de celălalt şi să formeze o îmbinare omogenă 8. Viteza de detonare avantajoasă este de peste 6 000 m/s.

Parametrii regimului de sudare sunt: natura materialului de îmbinat; grosimea pieselor de îmbinat; natura explozivului utilizat (pot fi folosiţi explozivi lenţi ce realizează viteze de deformare de până la 1 500 m/s sau explozivi violenţi sau brizanţi ce realizează viteze de deformare de până la 7 500m/s) şi unghiul de înclinare α dintre piesele de îmbinat.

Avantaje:

- permite sudarea materialelor total diferite fără ca acestea să formeze faze intermediare sau dure;
- lipsă zona influenţată termic;
- se aplică în zone unde celelalte procedee sunt imposibil de aplicat.

Procedeul prezintă toate dezavantajele legate de lucrul cu explozivi.

Utilizare. Procedeul se aplică cu succes la obţinerea tablelor placate (pe o placă suport din oţel obişnuit se plachează un strat de Cu, Ni, Ti, Ag etc.) cu suprafeţe de la câţiva cm^2 la câţiva m^2, la efectuarea conexiunilor liniilor de transport a energiei electrice (din Al sau Cu), la sudarea diverselor conducte (Al sau Mg), a diverselor tuburi, la schimbătoarele de căldură şi în domenii speciale ale industriei chimice, aeronautice, spaţiale şi atomice.

6.10.4. Sudarea prin presiune cu energie chimică

Procedeul se aseamănă cu sudarea prin presiune cu energie electrică, deosebirea constând în sursa de energie folosită. La acest procedeu drept sursă de energie se foloseşte o flacără rezultată din arderea unui gaz combustibil (de obicei amestecul dintre oxigen şi acetilenă). Sudarea se poate realiza în două variante:

- *în stare solidă* (fig. 6.128), când cele două piese de sudat 1 şi 2 sunt aduse în contact şi apăsate cu forţa iniţială *P*, iar arzătorul 3 (de regulă inelar) cu flăcările 4 se deplasează de-a lungul pieselor. La atingerea unei temperaturi de curgere plastică (de exemplu la oţeluri, de 1 200…1 250°C) sub acţiunea forţei *P*, piesele se îngroaşă, în dreptul suprafeţei de contact realizându-se îmbinarea sudată 5 (fig. 6.128. b);
- *în stare lichidă,* când piesele de sudat sunt aduse în contact şi se încălzesc cu ajutorul arzătorului până la topire, moment în care se aplică o forţă de refulare *P*, sub acţiunea căreia metalul topit este expulzat dintre piese şi se realizează

deformarea plastică necesară sudării.

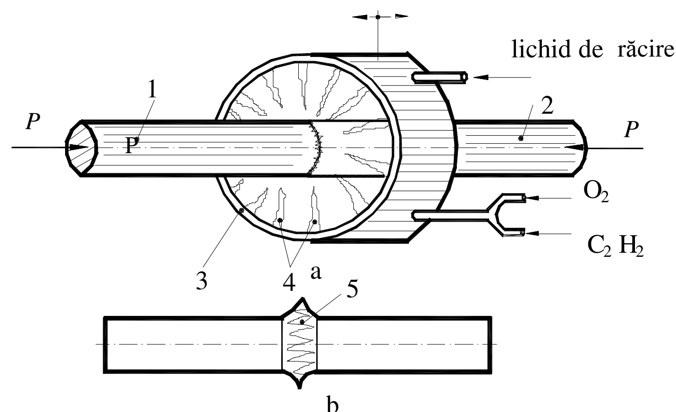


Fig. 6.128. Schema de principiu la sudarea prin presiune cu flacără de gaze:
1;2 – piesele de sudat; 3 – arzător inelar; 4 – flăcări combustibile; 5 – îmbinarea sudată rezultată.

La sudarea prin topire pregătirea capetelor pieselor în vederea sudării este mai sumară, deoarece impuritățile şi neregularitățile de la prelucrare se elimină prin topire şi refulare.

Procedeul are aceeaşi utilizare ca şi sudarea prin presiune cu energie electrică.

6.11. TENSIUNI ŞI DEFORMAȚII ÎN CUSĂTURILE SUDATE

6.11.1. Tensiuni remanente datorate sudării

Se numesc tensiuni proprii sau interne, acele tensiuni care există într-un corp, chiar dacă nu acționează forțe exterioare asupra acelui corp. Tensiunile proprii se formează în piesele turnate datorită răcirii neuniforme, în piesele obținute prin deformare plastică datorită coexistenței deformațiilor plastice cu cele elastice, la prelucrarea prin aşchiere datorită deformațiilor plastice şi în majoritatea cazurilor de transformare a substanței în produse cu o anumită utilitate socială.

De exemplu, după turnarea cadrului din figura 6.129. a, în zona centrală, vor apare tensiuni de întindere (notate cu semnul +), iar în brațele exterioare vor apărea tensiuni de compresiune (notate cu semnul −), datorită solidificării neuniforme în timp. După asamblarea prin nituire (fig.6.129. b), în tija nitului vor apărea tensiuni de întindere notate cu semnul +, iar în tablele care se îmbină vor apărea tensiuni de compresiune notate cu semnul –, datorită răcirii neuniforme în timp. La obținerea unui profil “I” prin laminare, în inima profilului vor apărea

tensiuni de compresiune (fig. 6.129. c), iar în tălpile profilului vor apărea tensiuni de întindere, datorită răcirii mai întâi a inimii şi apoi a tălpilor. La sudarea a două plăci (cusătura sudată simetrică) vor apărea tensiuni de întindere în zonele vecine cusăturii sudate (fig. 6.129. d), iar în restul zonelor iau naştere tensiuni de compresiune – şi aceasta datorită încălzirii şi răcirii neuniforme. La sudare, tensiunile proprii remanente apar datorită:

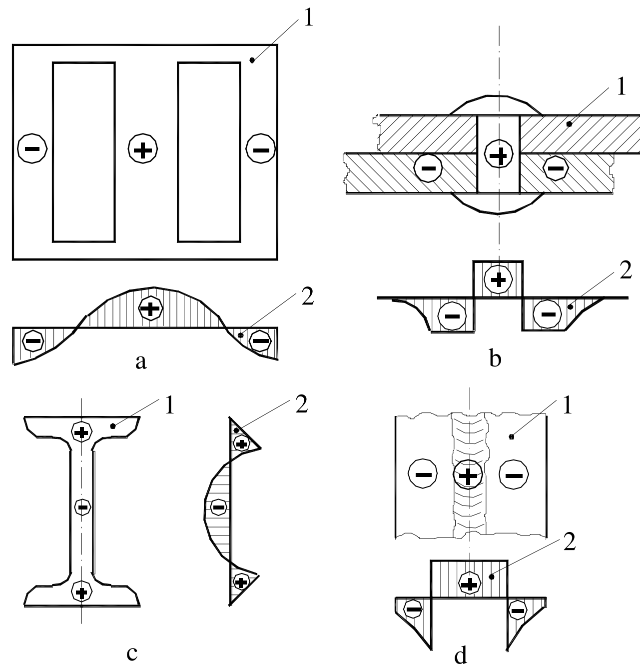


Fig. 6.129 . Formarea tensiunilor proprii remanente la:
a – turnare; b – nituire; c – laminare; d – sudare: 1 – piesa (ansamblu); 2 – diagrama de variaţie a tensiunilor de întindere notate cu semnul „+” sau compresiune notate cu semnul „–” .

- încălzirii neuniforme a pieselor care se sudează;
- deformaţiilor termo-plastice (datorită distribuţiei neuniforme a temperaturilor în piesele ce se sudează);
- transformărilor structurale şi de fază care se petrec mai ales în metale, însoţite de modificări locale de densitate şi volum.

În multe cazuri, formarea tensiunilor proprii remanente este provocată simultan de mai multe cauze.

Clasificarea tensiunilor proprii remanente în funcţie de cauzele apariţiei lor, de volumul în care se echilibrează şi în funcţie de orientarea în spaţiu se prezintă în tabelul 6.38.

Tabelul 6.38. *Clasificarea tensiunilor proprii remanente*

	Clasificare	Tipul tensiunii	Cauze şi definire	Metode de determinare
Tensiuni proprii remanente	În funcție de cauzele care le provoacă	- inițiale	- schema de montaj	- din rezistența materialelor
		- termice	- încălzire diferită în timp	- pe cale experimentală
		- remanente (rămân şi după eliminarea cauzelor)	- deformații plastice neomogene; - deformații termoplastice; - transformări structurale şi de fază.	- din rezistența materialelor; - din teoria elasticității şi plasticității; - pe cale experimentală
	În funcție de volumul în care se echilibrează	- de ordinul 1	- se echilibrează în volume mari	- pe cale teoretică - pe cale experimentală
		- de ordinul 2	- se echilibrează în volume microscopice	- analiză röentgeno-structurală
		- de ordinul 3	- se echilibrează în volume ultramicroscopice	- analiză röentgeno-structurală
	În funcție de orientarea în spațiu	- monoaxiale	- apar pe o singură direcție	- pe cale teoretică - pe cale experimentală
		- biaxiale	- acționează pe diferite direcții în plan	
		- triaxiale	- acționează pe diferite direcții în spațiu	

Tensiunile proprii de ordinul 1 se echilibrează în volume relativ mari, de acelaşi ordin de mărime ca şi piesa şi au o anumită orientare în funcție de forma piesei. Aceste tensiuni se pot determina pe cale teoretică cu metode din rezistența materialelor, din teoria elasticității şi plasticității, precum şi pe cale experimentală.

Tensiunile proprii de ordinul 2 se echilibrează în volume microscopice din corp, între limitele unuia sau mai multor grăunți cristalini, şi au o orientare determinată, nedepinzând de configurația geometrică a piesei. Se determină pe cale experimentală, după analiza difuziei liniilor spectrale de pe röentgenograme.

Tensiunile proprii de ordinul 3 se echilibrează în volume ultramicroscopice în interiorul grăuntelui cristalin (între limitele rețelei atomice) şi sunt neorientate în spațiu, nedepinzând de configurația geometrică a piesei. Se pot determina pe cale experimentală, după gradul de variație al intensității liniilor de pe röentgenograme.

Cele mai periculoase pentru oricare piesă sunt tensiunile de ordinul 1, de aceea, în cele mai multe cazuri, interesează metodele de determinare a acestora şi mai ales metodele de prevenire şi reducere a acestor tensiuni.

În majoritatea cazurilor, apariția tensiunilor proprii remanente la sudare este provocată de deformațiile termo-plastice care se produc în zona vecină cusăturii sudate, în procesul de încălzire şi răcire neuniformă. Tensiunile proprii remanente la sudare sunt repartizate astfel încât în zona vecină cusăturii acționează tensiuni de întindere, în general egale cu limita de curgere a materialului de bază, iar în celelalte zone acționează tensiuni de compresiune (în cazul poziției centrale a cusăturii sudate).

Valoarea tensiunilor proprii remanente în construcțiile sudate se poate determina *pe cale analitică* cu noțiuni din rezistența materialelor şi luând în considerare natura materialelor de îmbinat, secțiunea cusăturii sudate, poziția cordonului de sudură (simetrică sau nesimetrică) şi procedeul tehnologic folosit. Pe scară largă şi mai uşor de aplicat este determinarea *analitico-experimentală* a tensiunilor proprii remanente la sudare, care îmbină metodele analitice cu cele experimentale (fizice şi mecanice). La baza metodelor mecanice stă determinarea deformațiilor elastice care apar în diferitele părți ale piesei după secționarea acesteia prin strunjire, rabotare, găurire etc. De exemplu, două grinzi sudate cap la cap cu secțiunea **I** sau **T** se secționează în benzi de 15...18 mm lățime şi în fiecare din ele tensiunea σ, va fi (deoarece după secționare, forțele interioare din benzi dispar) dată de relația:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E = \frac{l - l_1}{l} \cdot E \ , \qquad (6.101)$$

în care: l este lungimea benzii înainte de secționare; l_1- lungimea benzii după secționare; E – modul de elasticitate Young.

Precizia determinării tensiunilor remanente în acest caz depinde de doi factori:

- procesul de secționare introduce el însuşi în margini deformații plastice şi tensiuni remanente;

- lățimea benzii de 15…18 mm permite obținerea unei valori medii a tensiunilor ce acționează în piesă în acest interval de timp.

Observații. La evaluarea influenței tensiunilor proprii remanente de sudare asupra rezistenței construcțiilor sudate, acestea nu pot fi considerate separat de alte tensiuni (de exemplu cele provocate de forțele exterioare din timpul exploatării) şi fără să se țină seama de modificările proprietăților materialelor în locul de acțiune a diferitelor tensiuni de sudare. Este obligatorie şi necesară luarea în considerare a complexității tuturor factorilor introduşi de procesul de sudare.

6.11.2. Deformații remanente datorate sudării

Deformațiile remanente datorită sudării sunt rezultatul încălzirii locale sau generale a pieselor în timpul procesului de sudare. Se pot clasifica după cauzele care le provoacă şi după modul de modificare a formei construcției sudate.

După cauzele care provoacă deformațiile la sudare se poate admite următoarea clasificare:

- *deformațiile termice lineare* ε_T, care sunt provocate de încălzirea neuniformă a elementelor de sudat. Formarea acestor deformații nu conduce la apariția unor forțe interioare şi nici la deformarea rețelei atomice a materialului;

- *deformațiile provocate de forțele interioare* ε, care determină condițiile de rezistență şi de rupere a elementelor sudate şi sunt provocate de deformațiile

elastico-plastice care apar în elementele sudate;

- *deformațiile datorate modificării formei elementelor* ε_f, care sunt provocate de acțiunea combinată a temperaturii şi a forțelor interioare.

La construcțiile sudate deformațiile cu modificarea formei se calculează cu relația:

$$\varepsilon_f = \varepsilon_T + \varepsilon \quad . \tag{6.102}$$

Luând în considerare modul de modificare a formei elementelor sudate, deformațiile la sudare se clasifică în:

- *deformații locale*, care produc modificarea dimensiunilor sau formei secțiunii transversale sau numai a unor părți din elementul sudat, neinfluențând forma şi mărimea elementului sudat în întregime;

- *deformații generale,* care produc modificarea dimensiunilor şi formei elementului sau ansamblului sudat pe toată întinderea lor.

Interes practic deosebit prezintă deformațiile provocate de forțele interioare numite şi deformații elastico-plastice. Deoarece procesul de sudare are loc la temperaturi destul de mari, deformațiile elastico-plastice sunt de două feluri:

- *deformații de alunecare,* care au loc ca urmare a deplasărilor ireversibile în planele cristalelor (deplasări de alunecare internă şi de clivaj) şi pot conduce la distrugeri transcristaline;

- *deformații de difuzie,* care se dezvoltă în special pe suprafața grăunților şi pot conduce la distrugeri intercristaline.

Formarea deformațiilor de alunecare şi de difuzie este influențată de natura materialului de îmbinat, gradul de mărime al grăuntelui, temperatura de încălzire şi de viteza de desfăşurare a deformațiilor. Experimental s-a constatat că (fig. 6.130) pe măsură ce creşte temperatura se dezvoltă cu precădere deformațiile de difuzie şi se reduc cele de alunecare, iar la temperaturi relativ mai mici încep să predomine deformațiile de alunecare față de cele de difuzie. Zona I este zona deformațiilor prin difuzie care se formează la temperaturi relativ mai ridicate şi la viteze mai mici de deformare, zona II este zona deformațiilor de alunecare care apar la temperaturi relativ joase şi la viteze mai mari de deformare, iar zona III este zona deformațiilor plastice combinate.

Diferitele forme de deformații plastice conduc la diferite forme de rupere a materialului, astfel: *ruperea intracristalină*, când predomină deformațiile de alunecare, şi *rupere intercristalină*, când predomină deformațiile de difuzie.

Determinarea mărimii deformațiilor datorate sudării se poate face:

- *pe cale experimentală*, folosind un *tensiometru mecanic*, cu care se măsoară mărimea deformațiilor datorate modificării formei şi un *dilatometru*, cu ajutorul căruia se măsoară deformațiile termice libere;

- *pe cale analitică*, folosind relații de calcul din rezistența materialelor luând în considerare forma şi dimensiunile elementelor de sudat, temperatura de preîncălzire, procedeul de sudare, secțiunea elementelor sudate şi natura materialelor de îmbinat.

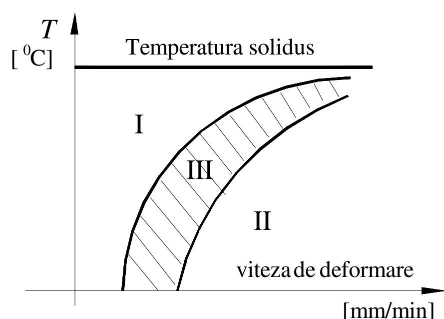


Fig. 6.130. Zona de predominare a deformațiilor de difuzie I, de alunecare II şi a deformațiilor plastice combinate III.

Observație. La proiectarea şi execuția construcțiilor sudate este necesar să se determine analitic, în special, deformațiile definitive, care rămân după sudare şi răcire, şi să se verifice pe cale experimentală mărimea lor.

6.11.3. Măsuri constructive şi tehnologice pentru reducerea tensiunilor şi deformațiilor datorate sudării

Apariția tensiunilor şi deformațiilor remanente în construcțiile sudate constituie un mare dezavantaj al procedeului de sudare, deoarece micşorează capacitatea de rezistență, conduce la ruperi fragile şi la micşorarea rezistenței la oboseală. De aceea, pentru reducerea tensiunilor şi deformațiilor remanente la sudare pot fi luate următoarele categorii de măsuri:

- *măsuri tehnologice,* care se referă la procedeul de sudare, regimul de sudare, ordinea de execuție a cordoanelor de sudură, detensionarea totală sau parțială a construcției sudate, realizarea unor deformații inverse, prelucrarea în etape etc.;
- *măsuri constructive,* care se referă la forma, mărimea şi locul de plasare a cusăturilor sudate în ansamblul sudat, forma şi mărimea îmbinărilor sudate etc.

6.11.3.1. Măsuri tehnologice pentru reducerea tensiunilor şi deformațiilor la sudare

Procedeul de sudare şi regimul de sudare influențează în mare măsură formarea tensiunilor şi deformațiilor prin valoarea energiei liniare, determinată în principal de curentul de sudare şi de viteza de sudare. Tensiunile şi deformațiile cresc odată cu creşterea valorii energiei liniare, deci sudurile cu secțiune mare (grosime mare), care necesită la execuție energii liniare mari, vor suferi deformații mari. Din acest punct de vedere în locul sudărilor scurte şi groase sunt preferate sudurile mai lungi şi subțiri, cu secțiune echivalentă, sau sudarea lor în mai multe straturi.

Un alt factor care influențează formarea tensiunilor și deformațiilor remanente este *ordinea de asamblare și de sudare*. De exemplu, grinda cheson în construcție sudată din figura 6.131 poate fi obținută sudând inima de tălpi în două variante. Calculând curbura cu relații din rezistența materialelor și măsurând practic săgeata se constată că varianta a doua (fig. 6.131. c) este mult mai avantajoasă decât prima variantă (fig. 6.131. b). De asemenea , pentru a rezulta o deformație cât mai mică mai pot fi folosite și alte măsuri tehnologice: sudarea să se facă începând de la mijlocul grinzii spre capete; sudarea simultană a cusăturilor 1 și 2 etc.

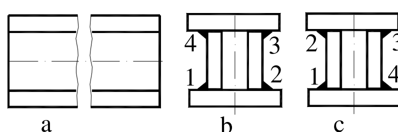


Fig. 6.131. Grindă cheson în construcție sudată:
a – vedere laterală; b; c – variante de execuție a cusăturilor sudate; 1; 2; 3 ; 4 – ordinea de execuție a cusăturilor sudate.

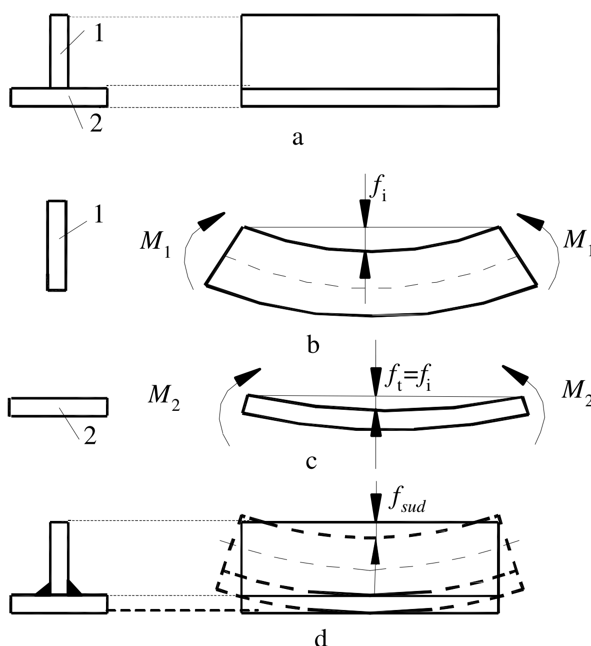


Fig. 6.132. Grindă cu secțiune T formată din inima 2 și talpa 1:
a – starea inițială înainte de asamblare; b – deformarea inversă cu săgeata f_i a inimii; c – deformarea inversă cu săgeata f_t a tălpii; d – deformarea în timpul sudării cu săgeata f_{sud} = -f_i.

Pentru ca ansamblele sudate (în special grinzile sudate) să rămână drepte, după sudare se poate aplica *metoda creării unor deformații mecanice inverse* celor produse la sudare.De exemplu, la sudarea unei grinzi cu secțiunea T, formată din talpa 1 şi inima 2 (fig. 6.132. a), se încovoaie invers separat inima (fig. 6.132. b) şi talpa (fig. 6.132. c), prin aplicarea momentelor M_1 şi M_2 la capete. Deoarece deformația la sudare va fi inversă (f_{sud}), în final va rezulta o grindă cu o deformație aproape nulă (fig. 6.132. d).

Reducerea tensiunilor remanente şi respectiv a deformațiilor remanente se poate face şi cu ajutorul *detensionării mecanice*, prin ciocănirea la cald sau la rece a sudurii şi a zonelor vecine.

O metodă radicală pentru reducerea sau chiar eliminarea tensiunilor remanente o constituie *tratamentul termic de detensionare* (recoacerea de detensionare), care în cazul oțelurilor constă în încălzirea parțială sau totală la temperatura de 650…680°C a ansamblelor sudate, menținerea lor la această temperatură timp de 2…3 ore (în funcție de grosimea pieselor) şi răcirea lentă. Metoda are marele dezavantaj legat de mărimea ansamblelor sudate, de aceea, în ultima vreme, se foloseşte *detensionarea termo-plastică*, aceasta presupunând o încălzire locală în zonele critice, încălzire ce se poate face cu ultrasunete, curenți de înaltă frecvență sau alte metode.

6.11.3.2.Măsuri constructive pentru reducerea tensiunilor şi deformațiilor

Proiectarea şi alcătuirea rațională a elementelor componente ansamblelor sudate conduce la reducerea tensiunilor şi deformaților remanente. Astfel, de mare importanță este *poziția cusăturilor sudate* într-un ansamblu față de axa geometrică (fig.6.133). În general, elementele lungi cu suduri nesimetrice se deformează mult (fig.6.133. a), iar elementele cu suduri simetrice vor avea cele mai mici deformații (fig. 6.133. b).

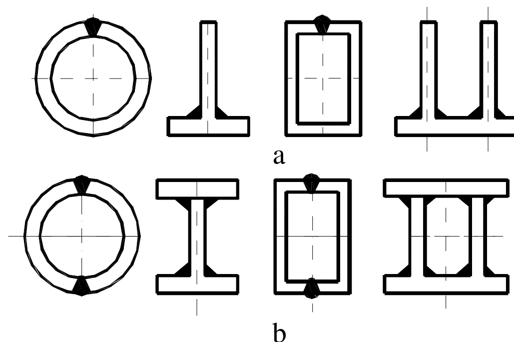


Fig. 6.133. Diferite secțiuni de elemente sudate:
a – proiectarea necorespunzătoare din punctul de vedere al apariției tensiunilor şi deformațiilor remanente; b – proiectarea rațională a poziției cusăturilor sudate în raport cu axa geometrică.

În concluzie, pentru reducerea tensiunilor şi a deformațiilor remanente datorită sudurii trebuie aplicate următoarele măsuri:

- proiectarea rațională a construcțiilor sudate, în aşa fel încât să nu fie suduri suprapuse şi pe cât posibil sudurile să fie simetrice față de axa geometrică a secțiunii transversale;
- folosirea metodei creării deformațiilor mecanice inverse;
- folosirea unor dispozitive de sudare care să împiedice deformarea elementelor sudate;
- folosirea unui regim de sudare optim şi aplicarea unei ordini de sudare bine determinate;
- aplicarea unor tratamente termice corespunzătoare înainte şi după sudare (mai ales la elementele sudate cu secțiune mare).

6.12. DEFECTELE ÎMBINĂRILOR SUDATE

Multitudinea de factori ce influențează procesul de sudare conduc la o probabilitate mai mare de apariție a defectelor la sudare decât la alte procedee de prelucrare.

Defectele îmbinărilor sudate sunt date de: abaterile de la continuitatea, forma, dimensiunile, aspectul exterior, structura şi compoziția chimică prevăzute pentru o anumită cusătură sudată în documentația tehnologică.

În aprecierea defectelor şi în caracterizarea lor trebuie ținut cont de următoarele caracteristici:

- secțiunea materialului în care se află defectul;
- tipul defectului;
- poziția de îmbinare;
- numărul de defecte pe o anumită suprafață;
- solicitările din exploatare prescrise construcției;
- mărimea şi forma defectului.

În general, este necesar să se cunoască foarte bine cauzele care provoacă apariția defectelor îmbinărilor sudate şi influența lor asupra comportării în exploatare, pentru a evita apariția acestor defecte şi mai ales pentru a evita apariția de pierderi materiale şi umane.

Defectele îmbinărilor sudate pot fi *superficiale, deschise*, uneori vizibile sau *închise, în interior,* fără vizibilitate, unele dintre ele putând fi remediate prin lucrări suplimentare, în timp ce altele nu mai pot fi remediate.

Producerea defectelor este rezultatul unor greşeli în proiectarea construcțiilor sudate, în proiectarea tehnologiei de realizare şi uneori în execuția cusăturii sudate.

Defectele cele mai des întâlnite în cusăturile sudate sunt prezentate succint în continuare.

6.12.1. Fisurile şi crăpăturile

Fisurile sunt defecte ce se manifestă sub forma unor discontinuităţi cu dimensiuni microscopice, iar când sunt vizibile cu ochiul liber devin *crăpături.*

Fisurile pot fi: *longitudinale* (fig. 6.134. a), *transversale* (fig. 6.134. b), *radiale* (fig. 6.134. c), *în crater* (fig. 6.133, d), *în zona influenţată termic* (fig. 6.133. e) etc. Fisurile sunt considerate un defect periculos şi nu sunt admise de aceea, pentru remediere, se foloseşte o tehnologie ce urmăreşte îndepărtarea completă a defectului.

Fisurile pot fi:

- *la cald,* care se produc când materialul este încălzit sau traversează intervalul de solidificare, au contur neregulat, se dezvoltă intercristalin şi sunt oxidate. Fisurile la cald sunt localizate mai ales în zona influenţată termic, principalele cauze fiind: creşterea intervalului de solidificare (în sistemul Fe-C aceasta presupune creşterea conţinutului de carbon); conţinutul în elemente de aliere ca manganul şi sulful; gazele rămase în baia de sudură (de exemplu, hidrogenul conduce la aşa numitele fisuri în „ochi de peşte”). Hidrogenul poate atinge concentraţii de 28 cm^3/100g metal, fiind preluat din învelişul ceramic al electrozilor, din atmosfera înconjurătoare sau din alte substanţe care acoperă metalul de bază (ulei, vopsea, rugină etc.).

Pericolul de fisurare la cald se poate aprecia cu ajutorul criteriului HCS (*Hot Craking Sensitivity*) în funcţie de compoziţia chimică, cu relaţia:

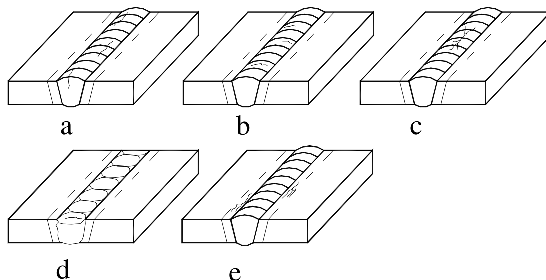


Fig. 6.134. Tipuri de fisuri în cordoanele de sudură:
a – longitudinale; b – transversale; c – radiale; d – în crater; e – în zona influenţată termic.

$$HCS = \frac{C\%\left(\%S + \%P + \frac{\%Si}{25} + \frac{\%Ni}{100}\right)}{3\%Mn + \%Cr + \%Mo + \%V} \cdot 10^3 \quad . \qquad (6.103)$$

Dacă HCS ≥ 4,0 apar fisuri la cald.

Factorii tehnologici pot conduce la fisurare dacă regimurile de lucru sunt necorespunzătoare (de exemplu, creşterea excesivă a temperaturilor de lucru care

duc la supraîncălzirea metalului de bază, participarea în exces a metalului de bază la formarea cusăturii sau viteza de răcire mare a unor structuri modificate).

De asemenea, factorii constructivi pot da naştere la fisuri atunci când nu se asigură o contracție liberă a cordonului de sudură în perioada de solidificare;

- *la rece*, care se produc datorită transformărilor structurale ale metalului de bază (ce au loc din cauza ciclului rapid de încălzire-răcire), sunt neoxidate, arată ca o linie dreaptă, fără ramificații şi sunt intercristaline. Tensiunile remanente contribuie şi ele la defectul de fisurare la rece, mai ales cele rezultate din împiedicarea deplasării pieselor în cursul operației de sudare, datorită prinderii rigide cu alte piese.

Printre măsurile tehnologice care se pot lua în vederea evitării fisurării la rece sunt: preîncălzirea şi tratamentele termice după sudare.

6.12.2. Porii şi suflurile

Porii şi suflurile sunt cavități umplute cu gaze, având suprafața lucie, de cele mai multe ori, de formă sferică. Mecanismul formării porilor şi suflurilor este determinat de condițiile de lucru (dacă viteza de evacuare a bulelor de gaz este mai mică decât viteza de înaintare a frontului de cristalizare, bulele de gaz rămân prinse în metalul solidificat). Gazele aflate în pori şi sufluri sunt: oxidul de carbon, dioxidul de carbon, metanul, hidrogenul sulfurat etc. După modul de distribuție, porii pot fi de mai multe feluri (fig. 6.135): *uniform distribuiți în metalul depus* (fig. 6.135. a), *localizați în metalul depus* (fig. 6.135. b), *în formă de şir* (fig. 6.135. c).

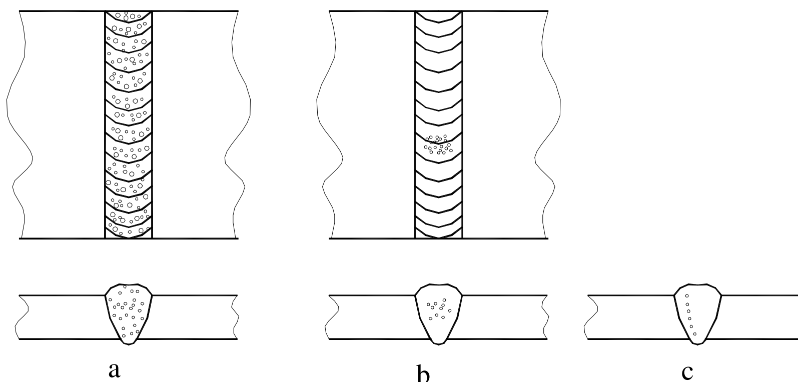


Fig. 6.135. Tipuri de pori:
a – uniform distribuiți; b – localizați în zona metalului de adaos; c – în formă de şir.

Suflurile au forme alungite, dimensiunea maximă fiind paralelă cu axa cordonului (fig. 6.136).

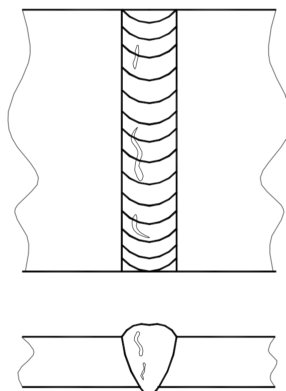


Fig. 6.136. Sufluri în metalul de adaos.

Principalele cauze ale apariției porilor şi suflurilor sunt:

- *regimul de lucru necorespunzător în timpul sudării*. Curentul de sudare prea mare față de cel necesar intensifică reacțiile chimice şi măreşte solubilitatea gazelor. Arcul electric prea lung şi viteza de înaintare prea mare produc scăderea înălțimii băii şi deci răcirea ei rapidă fără timp de eliminare a gazelor. Pătrunderea insuficientă şi temperatura prea scăzută a băii conduc la o solidificare prea rapidă, fără a lăsa timp de evacuare a gazelor;

- *compoziția chimică a materialului de adaos*. Conținutul ridicat de carbon, prin ardere, duce la formarea unei cantități mari de gaze sub formă de oxid sau dioxid de carbon. Feroaliajele reacționează cu hidrogenul şi devin surse de formare a porilor. Oțelurile care au sub 0,3% Si şi oțelurile aliate cu crom sunt sensibile la formarea porilor în prezența umidității.

- *umiditatea.* Provine din învelişul electrozilor, de pe suprafața semifabricatului sau din impurități, provocând o cantitate mare a vaporilor de apă care se descompun în arc în hidrogen şi oxigen.

6.12.3. Incluziunile

Incluziunile sunt defecte de compoziție chimică diferită de cea a metalului din cusătura sudată. Ele pot fi metalice sau nemetalice, iar din punct de vedere chimic pot fi oxizi, sufluri, silicați, nitruri, fosfați etc. Cele mai frecvente sunt incluziunile nemetalice de tipul *oxizilor, nitrurilor, sulfurilor* şi mai ales *zgura.* Incluziunile de zgură sau flux sunt resturi de zgură sau flux rămase după solidificare ca urmare a faptului că nu s-a făcut curățirea corectă după depunerea fiecărui strat. Incluziunile de oxizi nemetalici, nitruri şi sufluri se formează prin reacțiile oxigenului, azotului şi sulfului cu metalul băii.

Principalele cauze ale apariției defectelor de tipul incluziunilor sunt:

- suprafața metalului de bază acoperită cu rugină, vopsea, ulei etc., care în urma reacțiilor de oxidare conduce la formarea de oxizi, ce se localizează în metalul depus;

- îndepărtarea insuficientă a zgurii, de pe fiecare strat şi de la rădăcină, conduce la formarea incluziunilor de zgură şi diminuarea proprietăților mecanice;

- prelucrarea necorespunzătoare a marginilor pieselor de îmbinat şi curățirea necorespunzătoare a acestora;

- parametrii tehnologici necorespunzători (viteza mare de solidificare conduce la o posibilitate redusă de eliminare a incluziunilor de zgură).

6.12.4. Lipsa de pătrundere

Lipsa de pătrundere este defectul ce caracterizează secțiunea metalului topit în comparație cu secțiunea sudurii. Dacă rămâne un interstițiu între metalul depus şi metalul de bază, atunci apare defectul numit *lipsă de pătrundere* (fig. 6.137).

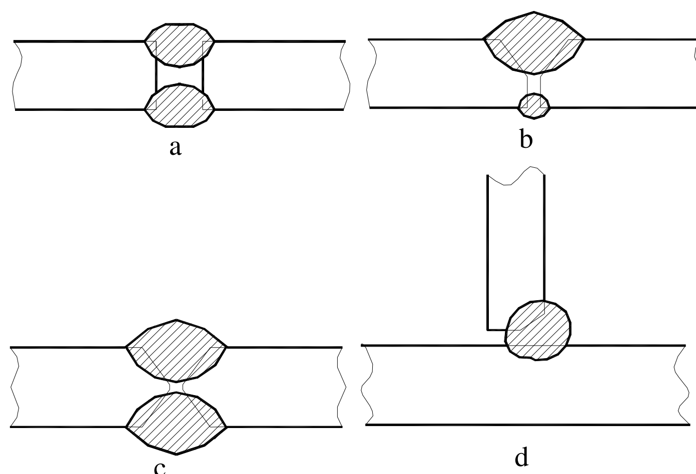


Fig. 6.137. Lipsa de pătrundere la o îmbinare sudată:
a – cap la cap fără pregătirea rostului; b – cu rost în Y; c – cu rost în X; d – cu rost în triunghi.

Lipsa de pătrundere micşorează rezistența mecanică statică, datorită modificării secțiunii active a îmbinării, reduce mult rezistența la oboseală şi mai ales rezistența la solicitări dinamice.

Principalele cauze care conduc la apariția lipsei de pătrundere sunt:

- încălzire incorectă a electrodului sau metalului de bază;
- înclinarea incorectă a electrodului;
- parametrii tehnologici aleşi necorespunzător;

- diametrul prea mare sau prea mic al electrodului sau sârmei la sudarea stratului de rădăcină;
- rostul prea mic şi unghiul de teşire prea mic, ceea ce nu permite pătrunderea suficientă a electrodului.

6.12.5. Lipsa de topire

Lipsa de topire este un defect definit de o legătură incompletă între materialul de bază şi cel de adaos sau între straturile materialului depus. Lipsa de topire poate fi : *laterală* (fig. 6.138. a), la *rădăcină* (fig. 6.138. b) şi *între straturi* (fig. 6.138. c).

Cauzele principale ce conduc la apariţia defectelor de tipul lipsei de pătrundere sunt:

- curăţirea neîngrijită a materialelor de îmbinat;
- alegerea parametrilor tehnologici necorespunzători (intensitatea curentului prea mică, viteza de sudare prea mare, arc neliniştit etc);
- alegerea greşită a electrozilor (din punct de vedere dimensional sau calitativ).

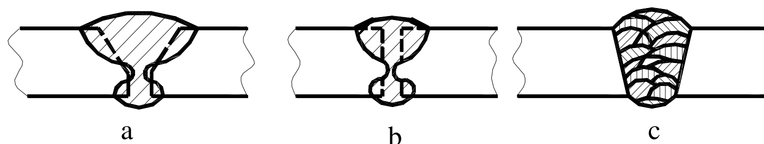


Fig. 6.138. Lipsa de topire:
a – laterală; b – la rădăcină; c – între straturi.

6.12.6. Supraîncălzirea şi arderea

Supraîncălzirea în îmbinările sudate constă în creşterea granulaţiei şi apariţia formelor aciculare de ferită. Apare ca urmare a solicitărilor la care este supus metalul în ciclurile termice de încălzire-răcire. Efectul de supraîncălzire caracterizează mai ales oţelurile susceptibile, cum sunt cele aliate cu proprietăţi anticorozive sau cele aliate cu structura feritică.

Remedierea defectelor de tipul supraîncălzirii este posibilă prin tratamente termice (recoacere de normalizare cu încălzire peste AC_3 sau recoacere de globulizare pentru granulaţie fină).

Arderea se produce atunci când este depăşită temperatura de fuziune şi se manifestă sub formă de zgură sau peliculă de oxizi.

Arderea este asociată de cele mai multe ori cu străpungeri ale materialului prelucrat, de aceea supraîncălzirea şi arderea sunt defecte ce duc la rebutarea pieselor fără posibilităţi de remediere.

6.12.7. Formarea unor compuşi cu fragilitate ridicată sau rezistenţă mică la coroziune

Formarea unor astfel de compuşi poate apare la oţelurile bogate în crom, care pot avea *structură austenitică, structură feritică sau structură martensitică.*

La încălzirea oţelurilor austenitice la temperaturi de 600….800°C, cromul fiind mai avid faţă de carbon în comparaţie cu fierul, formează carburi de crom dure şi fragile, ce precipită la marginea grăunţilor de austenită. Se formează îmbinări sudate fragile şi cu rezistenţă redusă la coroziune intercristalină.

La oţelurile feritice, care conţin 14…20% crom şi carbon puţin, se pot forma aceleaşi tipuri de carburi ca la oţelurile austenitice, dar la temperaturi de 450…500°C.

La oţelurile martensitice, care conţin 14…20% crom şi mai mult de 0,15%C, apar structuri de călire chiar la răcirea în aer, ceea ce face ca sudarea lor să se facă cu foarte mare greutate.

În general, pentru evitarea acestui tip de defect se iau următoarele măsuri: alierea cu titan sau niobiu, sudarea cu energii liniare mai mici, folosirea unor materiale de adaos cu structură austenitică etc.

6.12.8. Defectele de formă

Defectele de formă sunt date de abaterile de la forma şi dimensiunile prescrise în proiectul îmbinării sudate. Cele mai frecvente defecte de formă sunt (fig. 6.139):

- *lăţimea neuniformă a cusăturii* (fig. 6.139. a) datorită vitezei de sudare neuniformă, variaţiei tensiunii în reţea, schimbării poziţiei electrodului etc.;

- *supraînălţarea şi convexitatea excesivă* (fig. 6.139. b şi c), datorită vitezei de sudare mici, curentului de sudare mic şi calităţii fluxurilor utilizate;

- *abaterile poziţiei relative a semifabricatelor faţă de prescripţiile tehnice*, constau în nerespectarea unghiului prescris (fig.6.139. d) sau lipsa de coaxialitate (fig. 6.139. e) datorită apariţiei deformaţiilor peste limita tolerată şi datorită supraîncălziriii;

- *craterul final* apare la întreruperea arcului la capătul cordonului de sudură datorită conducerii greşite a arcului electric;

- *rădăcina nesudată* are forma unei retasuri (fig.6.139. f) şi este datorată prinderii necorespunzătoare şi deformaţiilor ce pot apărea;

- *scobiturile* (fig.6.139. g şi h) apar datorită unei topiri excesive;

- *scurgerile* (fig.6.139. i şi j) datorită folosirii unui curent de sudare prea mare, necorelării vitezei de sudare cu viteza de topire sau poziţiei incorecte a electrodului;

- *crestăturile* (fig.6.139. k şi l) sunt date de lipsa de material de forma unui şanţ pe lungimea parţială sau totală a cordonului de sudură. Aceste defecte apar

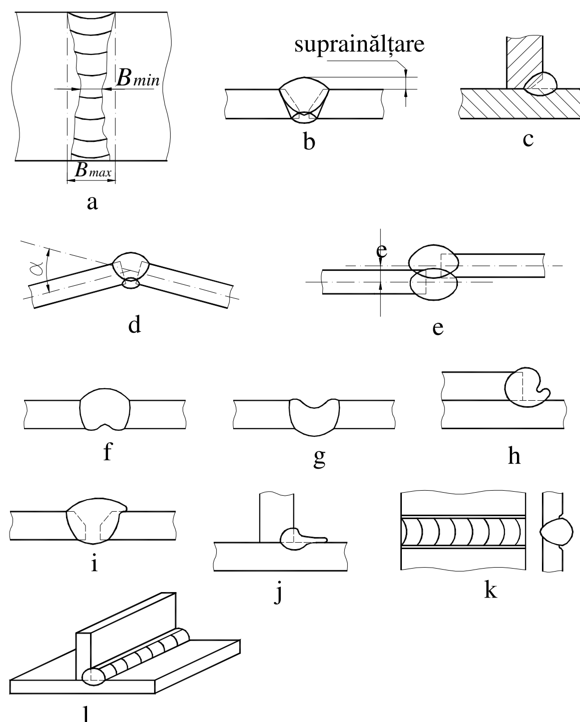


Fig. 6.139. Defecte de formă:
a – lățime neuniformă a cusăturii sudate; b – supraînălțare mare; c – convexitate excesivă; d – abaterea de la unghi; e – lipsa de coaxialitate; f – rădăcină nesudată; g – scobitură la o sudură cap la cap; h – scobitură la o sudură prin suprapunere; i – scurgere într-o sudură cap la cap; j – scurgere la o sudură de colț; k – crestătură pe toată lungimea la o sudură cap la cap; l – crestătură pe toată lungimea la o sudură de colț.

datorită mişcării rapide a electrodului, curentului de sudare prea mare, vitezei de sudare prea mari etc.

- *stropii* sunt părți din metalul lichid, solidificate pe materialul de bază în afara cordonului de sudură.

6.13. TRATAMENTELE TERMICE ALE ÎMBINĂRILOR SUDATE

Pentru a elimina pericolul apariției unor defecte de tipul fisurilor şi crăpăturilor, precum şi pentru a obține anumite proprietăți funcționale, corespunzător cu rolul funcțional şi solicitările din timpul exploatării, după realizarea îmbinării sudate se pot executa diferite tratamente termice, dintre care cele mai utilizate sunt:

- *recoacerea de omogenizare,* aplicată pentru a înlătura neomogenitățile care apar în urma proceselor de solidificare şi răcire, atât în interiorul cristalelor, cât şi la scara rețelei cristaline (pentru a înlătura segregațiile ce apar la răcire, aspectul grosolan al structurii cristaline în zonele de supraîncălzire, neomogenitățile provenite din transformările incomplete de fază etc.). Acest lucru se realizează prin difuzia în stare solidă, fenomen ce depinde de temperatură şi durata de menținere la temperatura de tratament. Temperatura de tratament se alege la valori cât mai mari (imediat sub curba lichidus) pentru a micşora timpul de difuzie, iar viteza de încălzire se ia sub 50°C/oră pentru a preveni apariția a noi tensiuni interne. Pentru oțeluri temperatura de omogenizare este de 1 000…1 200°C (AC_3 + 150…200°C), timpul de menținere de ordinul orelor (în funcție de grosime), iar răcirea se face cu o viteză mai mică de 50°C/oră odată cu cuptorul. În general, după omogenizare rezultă o structură grosolană cu proprietăți mecanice scăzute din cauza temperaturilor ridicate şi a timpilor mari de menținere la această temperatură;

- *recoacerea de normalizare,* aplicată în scopul finisării structurilor metalografice şi a înlăturării unor constituenți cu duritate mare (se aplică în special la sudarea pieselor cu grosimi mari la care s-au produs supraîncălziri grosolane şi o fragilitate ridicată). Tratamentul constă în încălzirea în domeniul austenitic (AC_3 + 30…50°C), cu o viteză mică, menținerea 20...30 min pentru omogenizarea temperaturii şi apoi răcirea în aer. Finețea grăunților cristalini este cu atât mai bună cu cât viteza de încălzire este mai ridicată, timpul de menținere în domeniul austenitic este mai scăzut, iar viteza de răcire este mai ridicată;

- *recoacerea de detensionare,* aplicată pentru eliminarea tensiunilor interne care apar în timpul operațiilor de sudare. Tratamentul constă în încălzirea lentă (temperatura de încălzire mai mică de 150°C/oră), menținerea la temperatura de tratament cel puțin 20...30 min sau 2…3 min pentru un milimetru grosime al pereților piesei (temperaturile de detensionare sunt cuprinse între 220...400°C pentru metale şi aliaje neferoase şi de 550...650°C pentru oțeluri), răcirea cu viteză mică sub 50°C/oră (odată cu cuptorul) până la 150...300°C şi apoi răcirea în aer liniştit.

Tratamentul termic de detensionare asigură, pe seama încălzirii, condiții de relaxare a tensiunilor interne prin anihilarea reciprocă a celor de sens contrar, produce o micşorare a densității defectelor de rețea şi deci şi a tensiunilor interne şi conduce la consumarea energiei care provoacă deformațiile elastice. Intensitatea procesului de eliminare a tensiunilor depinde de temperatură (cu cât aceasta este mai ridicată cu atât dispariția tensiunilor este mai accelerată);

- *revenirea,* aplicată oțelurilor care au tendință de călire în timpul solidificării după sudare şi asigură apropierea constituenților din oțel de starea de echilibru producând în acelaşi timp şi reducerea tensiunilor interne. Tratamentul constă în încălzirea sub punctul de transformare AC1 cu 20…50°C şi răcirea în aer

liber sau liniştit cu cuptorul (în funcție de natura oțelurilor sudate). Se obțin structuri cu o duritate substanțial diminuată şi cu proprietăți mecanice îmbunătățite.

Observații:

1 - Aplicarea tratamentelor termice după sudare este dificilă (mai ales în condiții de şantier), necesitând măsuri tehnologice laborioase şi cheltuieli mari, de aceea este indicată evitarea tratamentelor termice pe seama unor măsuri constructive şi tehnologice care să asigure, în primul rând, prevenirea structurilor fragile etc.

Tratamentele termice enumerate mai sus şi altele sunt obligatorii în anumite situații:

- la piesele confecționate din oțeluri cu granulație fină şi grosime mai mare de 30mm;
- la piesele confecționate din oțeluri cu conținut mai mare de 0,25%C şi grosimi mai mari de 35mm;
- la structurile sudate care au suferit după sudare deformații plastice la întindere cu $\delta > 5\%$;
- la piesele sudate în dispozitive rigide;
- la toate structurile sudate la care se cer precizii dimensionale ridicate şi care ar putea fi influențate de deformațiile din timpul exploatării datorate tensiunilor interne.

2 - Tratamentul termic poate fi aplicat întregii structuri sudate sau parțial, în zona în care s-a făcut sudura şi în care există o concentrare mare de tensiuni interne sau modificări de proprietăți mecanice sau de structură;

3 - Aplicarea tratamentelor termice trebuie făcută în strânsă legătură cu cerințele de exploatare, construcția îmbinării sudate şi tehnologia de sudare adoptată, astfel încât să se asigure în final calitatea cerută structurii sudate în ansamblu.

6.14. CONSTRUCȚII (STRUCTURI) SUDATE

6.14.1. Generalități

Sudarea, ca procedeu tehnologic asigură posibilitatea realizării unor construcții sudate cu forme complexe, raționale şi mult mai variate în comparație cu turnarea sau forjarea, construcții care, pe lângă condiții de rezistență, satisfac şi alte condiții (de exemplu condiții de etanşeitate). Avantajele tehnice şi economice mari ale construcțiilor sudate asigură acestora o foarte largă folosire în diferite ramuri ale industriei; transportului şi construcțiilor. Toate construcțiile metalice: poduri, turnuri şi structuri metalice, hale şi depozite, vagoane, locomotive şi alte vehicule, batiuri de maşini unelte, carcase pentru utilaje energetice, rezervoare,

gazometre şi alte utilaje chimice, construcții navale şi multe organe de maşini se execută prin sudare.

Proiectarea şi execuția construcțiilor sudate necesită luarea în considerare a particularităților caracteristice ale îmbinărilor sudate şi acordarea unei atenții deosebite problemelor tehnologice de realizare a preciziei cerute de rolul funcțional. La proiectarea construcției sudate şi a procesului tehnologic de execuție trebuie ținut cont de *tehnologicitatea construcției sudate.* Prin tehnologicitatea construcției sudate se înțelege aceea formă prin care se asigură confecționarea sa rațională, cu aplicarea procedeelor tehnologice cunoscute, de înaltă productivitate, şi care uşurează mecanizarea şi automatizarea proceselor de execuție a structurilor sudate. Varietatea foarte mare a construcțiilor sudate, după destinația şi forma lor, necesită o grupare în funcție de caracteristicile comune, pentru a permite o examinare constructiv–tehnologică corespunzătoare. Pot fi considerate următoarele grupe: *piese specifice organelor de maşini, carcase şi batiuri sudate, conducte, recipienți, construcții din profile laminate sau din tablă* şi *construcții combinate.*

6.14.2. Construcții sudate specifice organelor de maşini

Organele de maşini ca piese intens solicitate în exploatare pot fi realizate din componente mai mici obținute prin turnare, forjare, matrițare, laminare, extrudare, tragere etc., şi îmbinate prin sudarea în mod direct sau prin intermediul unor profile deformate plastic.

Realizarea organelor de maşini prin tehnologia construcțiilor sudate prezintă numeroase avantaje legate de:

- însemnate economii de material şi energie datorită adaosurilor de prelucrare minime şi micşorării cantității de material ce trebuie turnat sau deformat plastic (forjat, matrițat, laminat etc.);
- rezistență mai mare în exploatare deoarece sunt mai simple, mai precise şi au o greutate proprie mai redusă.Organele de maşini cele mai frecvent realizate prin tehnologia construcțiilor sudate sunt*:* tijele, pârghiile, arborii, rotorii, roțile, tamburii, pinioanele etc.

Tijele sunt formate în cele mai multe cazuri din tija propriu-zisă, la capetele căreia se formează prin deformare plastică câte un ochi necesar asamblării. Acestea au dezavantajele unei greutăți proprii ridicate şi a unei manevrabilități reduse, de aceea realizarea tijelor sudate permite utilizarea unor semifabricate rezistente şi cu greutate proprie redusă pentru tija propriu-zisă (țevi, profile laminate, tablă rulată cu secțiune deschisă etc.), la care se sudează în capete ochiurile de prindere (fig.6.140). Sudurile se pot realiza prin frecare, prin presiune, în baie de zgură, prin topire cu arc electric sau cu fascicol de electroni.

Pârghiile, care în mod obişnuit se obțin prin matrițare sau turnare de precizie, se pot realiza şi prin sudare, obținându-se economii importante de material. Cel mai uşor se realizează pârghiile din tablă decupată pe care se aplică,

prin sudare de colț, articulațiile confecționate din țevi, profile laminate sau componente matrițate (fig. 6.141).

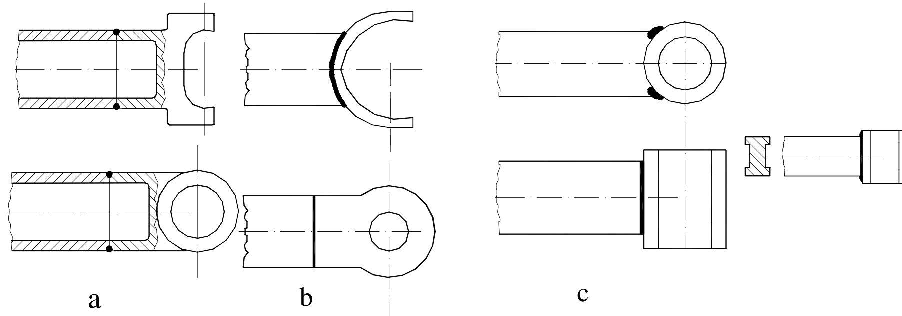


Fig. 6.140. Realizarea tijelor prin sudare:
a – utilizând țevi; b – utilizând tablă îndoită şi bare; c – utilizând tablă şi profile.

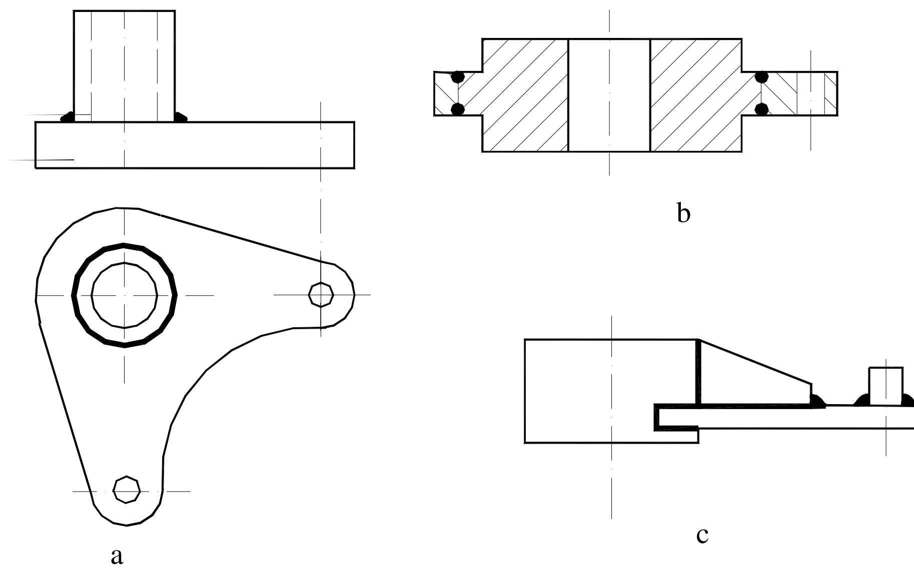


Fig. 6.141. Realizarea pârghiilor prin sudare:
a – din tablă decupată şi țevi; b – din tablă decupată şi componente simple matrițate; c – din tablă şi profile laminate.

Realizarea *arborilor* şi *rotorilor* prin tehnologia construcțiilor sudate este avantajoasă numai în cazul pieselor de dimensiuni mari, cu configurație complexă şi cu diferențe mari de secțiune. Elementele componente obținute prin turnare, presare, forjare, matrițare sau din profile laminate sunt îmbinate prin sudare

circulară în baie de zgură, cap la cap prin presiune, prin frecare sau prin topire cu arc electric (fig. 6.142).

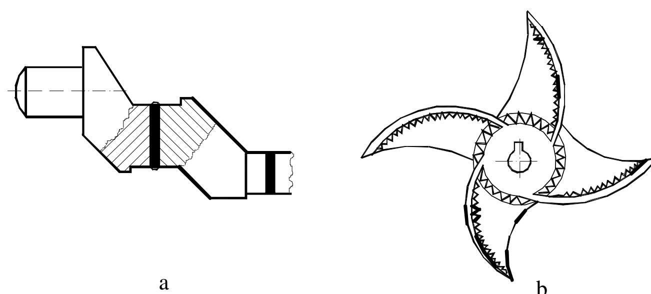


Fig. 6.142. Realizarea prin sudarea:
a – a arborilor cotiți; b – a rotoarelor.

Roțile, *rolele*, *tamburii* turnați din fontă sau oțel se pot înlocui cu piese executate prin tehnologia construcțiilor sudate, atât în cazul unicatelor sau a seriilor mici, cât şi în cazul producției de serie mare (fig. 6.143). Principalele avantaje în acest caz rezultă din greutatea redusă, rezistența sporită a produselor din tablă, a țevilor şi profilelor sudate, precum şi din fiabilitatea crescută şi prețul de cost mai scăzut.

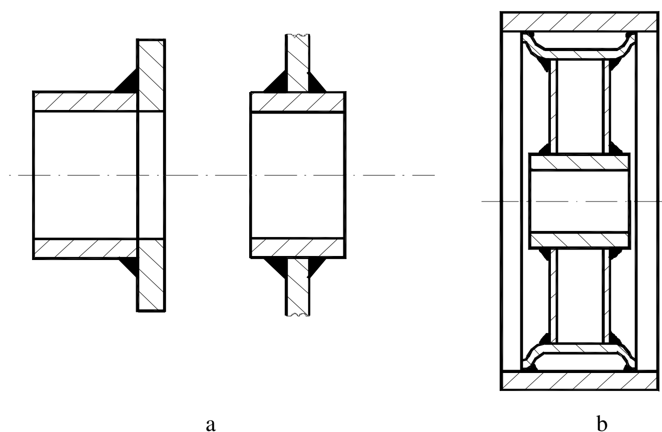


Fig. 6.143. Realizarea prin sudare:
a – a butucului unei roți; b – a unor roți de antrenare.

Grupurile de *pinioane* cu diferențe mari de diametru şi *roțile dințate mari* se pot executa din mai multe bucăți îmbinate prin sudare: cap la cap, prin topire cu arc electric, prin frecare, prin presiune, cu arc rotitor (fig. 6.144). Principalele

avantaje rezultă din realizarea mult mai uşor a danturării şi economii importante de materiale scumpe.

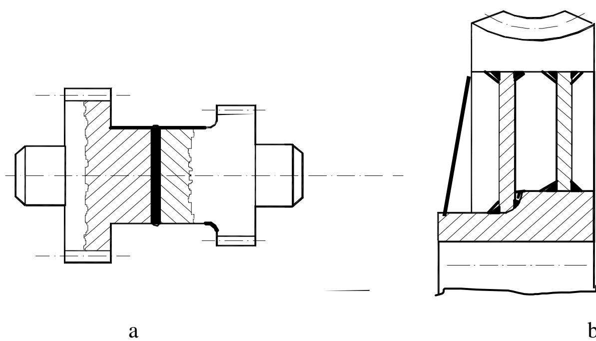


Fig. 6.144. Realizarea în construcție sudată:
a – a grupurilor de pinioane; b – a roților dințate.

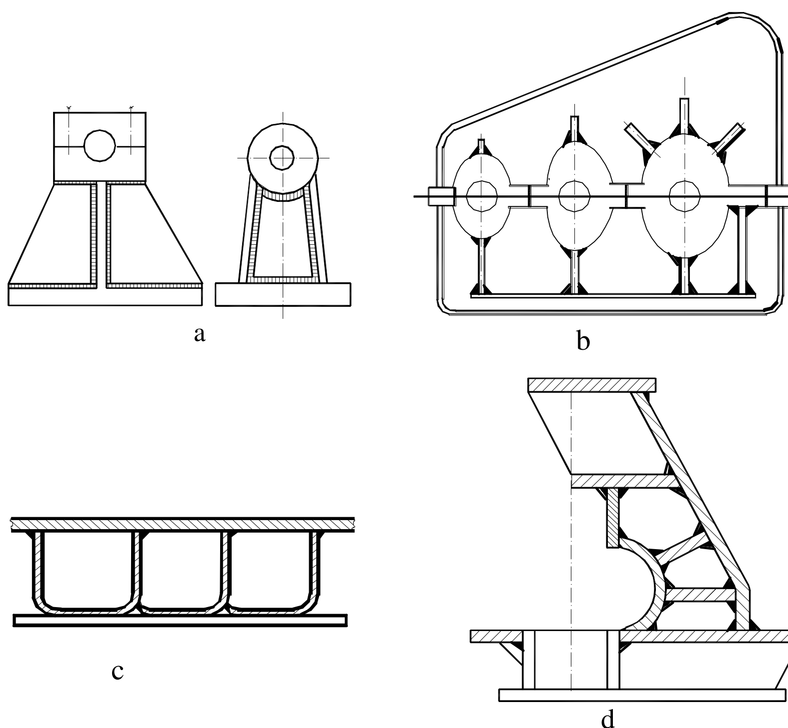


Fig. 6.145. Realizarea prin sudare:
a – a unor lagăre; b – a carcasei unui reductor cu trei trepte; c – a unui batiu de maşină-unealtă;
d – a unui batiu de ciocan pneumatic.

Înlocuirea lagărelor, carcaselor şi batiurilor turnate cu cele executate prin tehnologia construcțiilor sudate din oțel, prezintă avantaje deosebite în ceea ce priveşte fiabilitatea şi prețul de cost, mai ales la unicate şi la serii mici de piese şi atunci când condițiile de exploatare sunt severe (rame, suporturi, stative, cadre, lagăre, carcase de reductoare şi cutii de viteză, carcase de motoare electrice, de turbine, compresoare, batiuri de maşini, prese şi ciocane, blocuri motoare etc.). Oricât de complicat ar fi ansamblul respectiv, el se realizează din tablă plată sau ambutisată cu sau fără nervuri de rigidizare, țevi şi profile laminate asamblate prin sudare (fig. 6.145).

6.14.3. Construcții sudate de tipul conductelor

Conductele, ca ansambluri de elemente simple montate pe un traseu stabilit şi destinate transportului şi distribuției fluidelor şi gazelor, pot avea în componență țevi, coturi, ramificații, armături, flanşe, compensatori de dilatație, aparatură de măsură şi control, garnituri, suporturi etc. Ele se realizează din tablă sudată într-o gamă foarte largă de diametre. Conductele cu lungime mare se execută din tronsoane sudate sau din tronsoane îmbinate prin intermediul flanşelor sudate (fig. 6.146). Tronsoanele se vor îmbina astfel încât sudurile longitudinale să nu fie în prelungire şi să alterneze, astfel încât să se evite intersectările în cruce ale sudurilor.

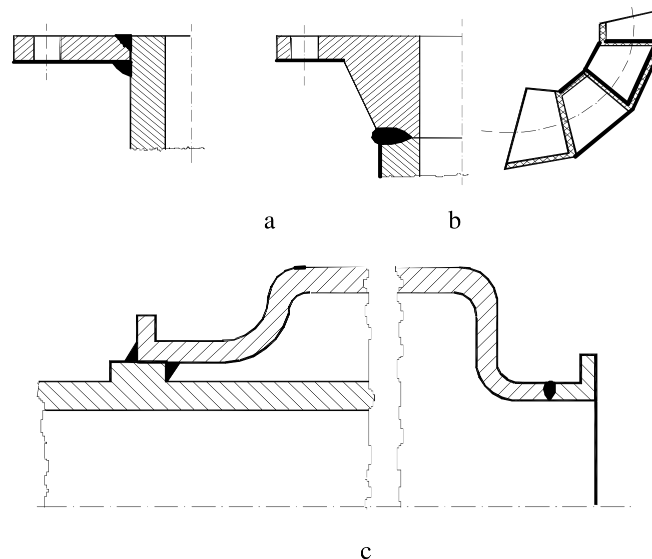


Fig. 6.146. Realizarea prin sudare a unor elemente ale conductelor:
a – flanşe; b – coturi; c – compensatori elastici.

6.14.4. Construcții sudate de tipul recipienților

Recipienții metalici de diferite tipuri și utilizări sunt executați în mod curent în construcție sudată, datorită avantajelor pe care le prezintă: greutate proprie redusă, rezistență mecanică sporită, costul redus al execuției, posibilitatea realizării unei bune etanșări etc. Elementele utilizate la realizarea recipienților sunt: tablele plane sau rulate, virolele formate din mai multe table rulate, țevile, flanșele prelucrate din tablă sau din laminate, precum și flanșele obținute prin deformare plastică sau prin turnare, nervurile și ramele din tablă pentru rigidizare etc. În general tehnologia de sudare a diferitelor elemente componente ale recipienților se stabilește în funcție de calitatea și grosimea metalului de bază și de destinație ulterioară, fiind des utilizată sudarea sub flux, sudarea MIG-MAG, cu electrod învelit, în baie de zgură etc. Elementele componente ale recipienților se vor proiecta astfel încât solicitările să fie repartizate cât mai favorabil în îmbinările sudate (fig. 6.147).

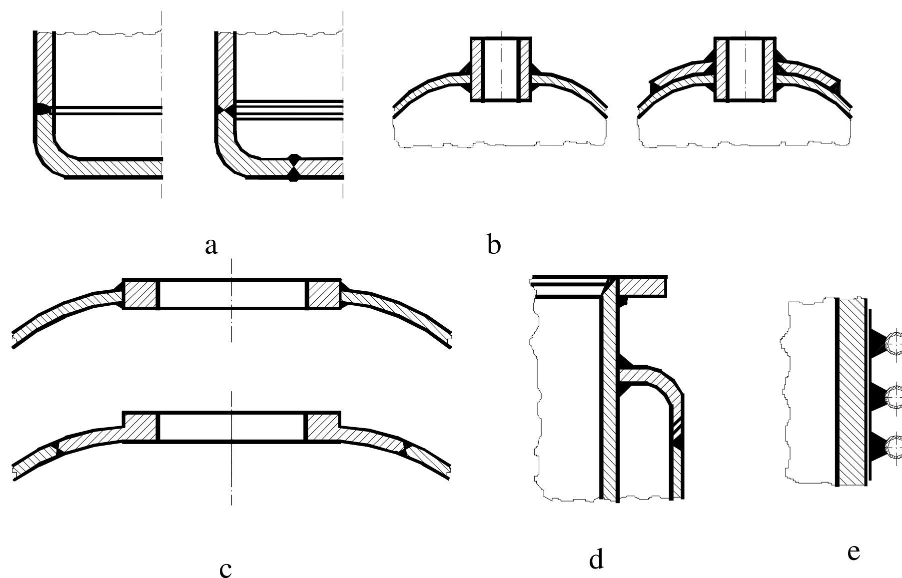
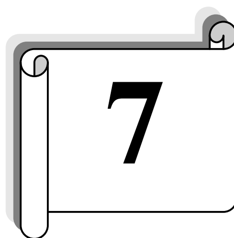


Fig. 6.147. Îmbinarea prin sudare a unor componente ale recipienților:
a – mantaua și fundul; b – țevile colectoare sau ramificațiile; c – flanșele gurilor de umplere;
d – pereții subțiri; e – elementele de rigidizare.

Toate sudurile recipienților care funcționează la presiuni ridicate sunt verificate prin control nedistructiv cu ultrasunete, cu radiații penetrante și pot fi supuse încercării la suprapresiune.



OBȚINEREA PIESELOR PRIN LIPIRE

7.1. GENERALITĂȚI

Lipirea este metoda tehnologică de îmbinare nedemontabilă a două piese aflate în stare solidă cu ajutorul unui material de adaos aflat în stare lichidă sau vâscoasă, care se solidifică după difuzia sa între atomii marginali ai celor două piese. Materialul de adaos poate fi, după caz, aliaj de lipit sau adeziv. Spre deosebire de sudare, cu care este înrudită ca tehnică operatorie, lipirea cu material de adaos prezintă următoarele avantaje:

- necesită energii mult mai mici, deoarece la lipire nu este necesară topirea materialului de bază (este suficientă o încălzire a acestuia la temperatura de topire a aliajului de lipit, care este cu mult mai mică decât temperatura de topire a materialului de bază);
- materialul de adaos (aliajul de lipit) nu trebuie să aibă compoziția identică sau asemănătoare cu cea a materialului de bază;
- fenomenul de bază la realizarea îmbinării nedemntabile prin lipire este difuzia reciprocă a atomilor materialului de adaos cu cei ai materialului de bază;
- necesită un echipament tehnologic mult mai simplu şi un proces tehnologic mai simplu.

Piesele pot fi confecționate din materiale metalice sau nemetalice; se pot asambla prin lipire piese metal-metal, metal-nemetal, nemetal-nemetal.

Asamblarea prin lipire se utilizează frecvent pentru asigurarea etanşeității. Ea nu se recomandă în cazul necesității demontării şi reasamblării pieselor.

Asamblarea pieselor metalice cu aliaje de lipit este unul dintre cele mai vechi procedee tehnologice utilizate de om de peste 3 000 de ani.

Îmbinarea prin lipire se bazează pe fenomenul de difuzie al atomilor şi moleculelor din substrat în materialul de adaos. La lipirea cu material de bază metalic (aliaj de lipit) are loc difuzia reciprocă a atomilor din metalul de bază şi din aliajul de lipit, deosebindu-se zonele (fig. 7.1.a):

- A metalul de bază I;
- AL metalul de bază A în care au difuzat atomi din aliajul de lipit L;
- LA aliajul de lipit L în care au difuzat atomi din metalul de bază A;
- L aliajul de lipit;
- LB aliajul de lipit L în care au difuzat atomi din metalul de bază B;
- BL metalul de bază B în care au difuzat atomi din aliajul de lipit L;
- B metalul de bază II.

Zonele A, AL, LA aparţin piesei I; zonele LB, BL, B aparţin piesei II; zona L este interstiţiul asamblării lipite, unde se depune materialul de adaos (aliajul de lipit).

La lipirea cu adezivi, îmbinarea materialelor se face prin intermediul legăturilor chimice realizate la scară atomică sau moleculară între materialele de bază şi adezivi (fig.7.1.b).

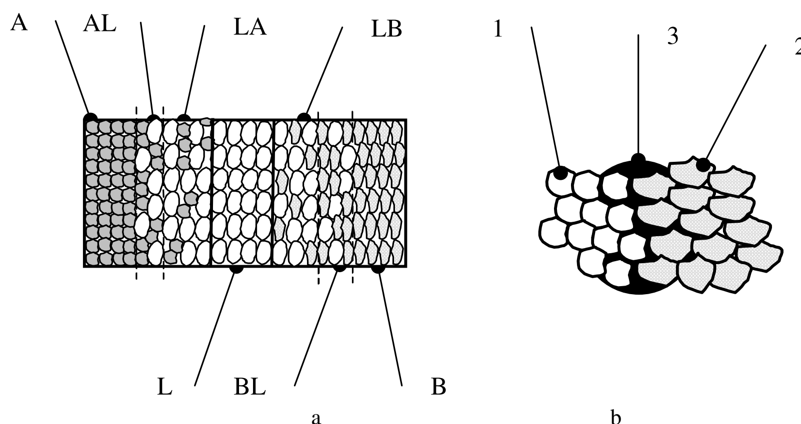


Fig. 7.1. Schema de principiu la îmbinarea prin lipire:
a – cu material de adaos metalic (aliaj de lipit): A - metal de bază piesa I; AL - metal de bază în care au difuzat atomi din aliajul de lipit; LA – aliaj de lipit în care au difuzat atomi din metalul de bază A; L – aliaj de lipit depus în intersiţiul îmbinării lipite; LB - aliaj de lipit în care au difuzat atomi din metalul de bază B; BL - metal de bază în care au difuzat atomi din aliajul de lipit; B - metal de bază piesa II; b – cu material de adaos nemetalic (adeziv): 1 - material de bază piesa I; 2 - material de bază piesa II; 3 - adeziv.

Din aceasta cauză, o primă condiţie absolut necesară obţinerii unei lipiri rezistente este curăţirea şi decaparea substraturilor. A doua condiţie constă în alegerea corectă a materialului de adaos şi a tehnologiei de lipire. În funcţie de alegerea tehnologiei de lipire se proiectează forma constructivă a îmbinării.

7.2. CLASIFICAREA PROCEDEELOR DE ASAMBLARE PRIN LIPIRE

Clasificarea procedeelor de asamblare prin lipire se face după mai multe criterii, cele mai des utilizate fiind:

- după *natura pieselor asamblate* se deosebesc:
  - lipire metal-metal;
  - lipire metal-nemetal;
  - lipire nemetal-nemetal.
- după *natura elementului de adaos* se deosebesc:
  - lipire cu material de adaos metalic (aliaj de lipit);
  - lipire cu material de adaos nemetalic (adeziv).
- după *temperatura de topire a materialului de adaos* se deosebesc:
  - lipire la temperatura ambiantă;
  - lipire moale (< 425^0C – sub curba solidus);
  - lipire tare (brazare) (>425^0C – peste curba solidus).
- după *forma îmbinării* se deosebesc:
  - prin depunere, când materialul de adaos se introduce în rostul îmbinării ca la sudarea cu flacără;
  - prin capilaritate, când materialul de adaos pătrunde singur în rost (interstițiu) datorită forțelor de capilaritate (fig. 7.2).

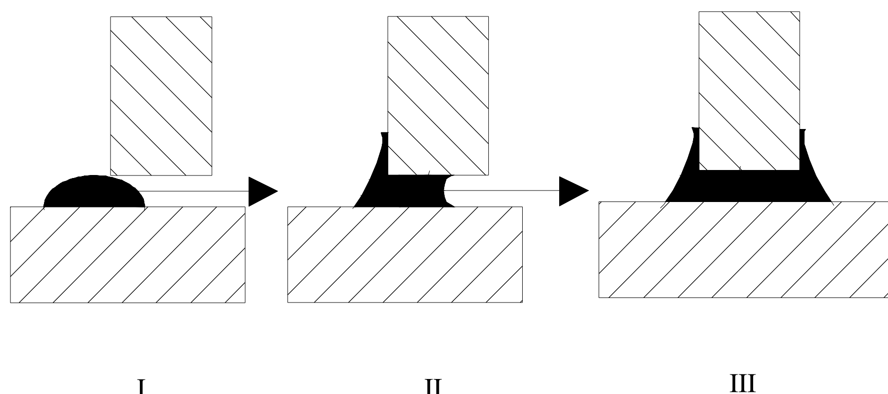


Fig. 7.2. Fazele lipirii prin capilaritate:
I - inițierea; II - curgerea materialului de adaos în rost, formarea meniscului concav;
III - definitivarea lipirii.

Posibilitatea realizării unei îmbinări prin lipire şi calitatea acesteia depinde în primul rând de natura materialului de adaos şi mai ales de *capacitatea de umectare (udare)* a acestuia.

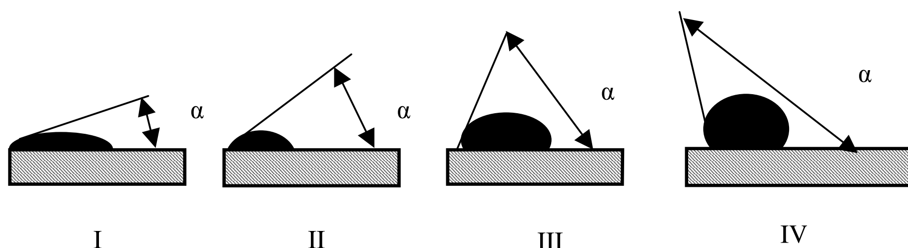


Fig. 7.3. Capacitatea de umectare a materialului de adaos:
a - umectare foarte bună, $\alpha = 0^0$-14^0; b - umectare bună, $\alpha = 15^0$-75^0;
c - umectare satisfăcătoare, $\alpha = 75^0$–90^0; d - umectare nesatisfăcătoare, $\alpha = 91^0$–180^0.

După capacitatea de umectare a materialului de adaos există următoarea clasificare: umectare foarte bună, bună, satisfăcătoare, nesatisfăcătoare (figura 7.3).

7.3. LIPIREA CU ADEZIVI

Lipirea cu adezivi este un domeniu aflat într-o continuă evoluție, cuprinzând atât procedeele clasice, cunoscute de mii de ani (precum lipirea cu clei a lemnului), lianții utilizați în construcții, lianții folosiți la realizarea formelor pentru turnare sau lianții care intră în componența vopselelor şi cernelurilor, cât şi materiale mai recente, cum ar fi adezivii de contact care se folosesc în industria aerospațială.

Asamblările lipite cu adezivi sunt adesea mai ieftine, mai simplu de realizat şi chiar mai rezistente la oboseală şi la coroziune decât sudarea sau asamblările mecanice. În anumite situații, aceste tipuri de lipiri sunt unicele posibile.

Lipirea cu adezivi poate fi folosită atât la piese mari, cât şi la piese foarte mici. Forma geometrică sau dificultatea accesului în zona de contact nu constituie probleme.

Exemple tipice de piese lipite cu adeziv sunt: ferodouri pentru benzi şi discuri de frână, pale de elicopter, structuri fagure pentru aviație, asigurarea asamblărilor şurub-piuliță contra desfacerii, în industria prelucrării lemnului şi a hârtiei, în industria construcțiilor (tabelul 7.1.).

Lipirea cu adezivi constă în depunerea unui strat subțire lichid sau semilichid pe suprafețele îmbinării, urmată de imobilizarea pieselor până la solidificarea adezivului. Solidificarea adezivului poate necesita încălzirea, răcirea, evaporarea; ea poate dura secunde, ore sau zile, şi este de regulă accelerată prin încălzire.

Depunerea stratului de adeziv se poate face prin procedee similare vopsirii: pensulare, cu rola, prin periere, prin pulverizare, prin pompare, prin imersare etc.

Procedeul se alege în funcție de natura adezivului, mărimea pieselor, caracterul producției.

Adezivii se folosesc atunci când sunt urmărite următoarele caracteristici:

- greutate minimă a asamblării;
- materiale de bază poroase, fragile sau sensibile la încălzire;
- estetica asamblării este importantă;
- amortizarea zgomotelor şi a vibratiilor la nivelul asamblării;
- izolarea electrică a materialelor de bază împotriva coroziunii galvanice;
- îmbinarea unor materiale diferite ca grosime, compoziție, modul de elasticitate;
- eficiența ridicată indiferent de numărul de produse din seria de fabricație.

Deşi asamblările cu adezivi pot rezista la solicitări mari, ele nu sunt recomandate în condiții de variații termice extreme.

Adezivii/lianții pot fi de natură diversă, în funcție de materialele de îmbinat.

Tabelul 7.1. *Câteva tipuri de lianți utilizați în industria construcțiilor*

Natura liantului	Utilizări
Argilă	Liant, industria ceramicei, fabricarea cimentului
Bitum	Liant în mortare, betoane asfaltice, la brichetarea cărbunilor
Ciment	Betoane şi mortare diverse
Ghips (ipsos)	Mortare de zidarie şi de tencuială, panouri ghips-carton, prefabricate, mulaje, forme de turnare
Poliacetatul de vinil (aracet)	Adaos în betoane şi mortare, lipirea lemnului, hârtiei
Răşini epoxidice	Adezivi pentru betoane, beton-metal, metal-sticlă, metal-metal
Rășini fenolformaldehidice (novolac, bachelită)	Fabricarea de plăci PAL şi PFL, a textolitului şi a sticlotextolitului, a furnirului
Poliacetatul de vinil (aracet)	Adaos în betoane şi mortare, lipirea lemnului, hârtiei

Tabelul 7.2. *Câteva tipuri de adezivi*

Tip	Caracteristici	Utilizări
De aderență	Soluții ale cauciucului natural sau sintetic în amestec cu răşini; rezistență mecanică şi termică redusă; aderă pe toate tipurile de materiale	Benzi adezive, adezivi de tip prenadez
De contact	Soluții ale cauciucului sintetic în amestec cu stabilizatori; aderă pe toate tipurile de materiale	Adezivi cu rezistență mai mare decât cei de aderență
De rezistență	Polivinilacetat şi poliamidă – adezivi topiți; se solidifică prin evaporarea solventului Răşini epoxidice şi poliesteri nesaturați – adezivi de reacție (A+B)	Lipiri de rezistență
Lacuri	Polimeri în soluții cu solvenți	Nitroceluloză, polivinil, polistiren

Tabelul 7.3. *Materiale care intră în structura adezivilor*

Componenţa	Proprietăţi	Rol	Exemple
Baza adezivului	În raport cu tipul şi utilizarea	Conferă proprietăţile de liere	Răşini epoxidice, derivaţi ai cauciucului, derivaţi celulozici
Întăritor/ accelerator	În raport cu tipul şi utilizarea	Umectarea răşinii/activarea polimerizării	Poliamide, poliamine, sulf, fenol
Solvent	Agent de dispersie pentru bază adezivului	Reglarea vitezei de evaporare, îmbunătăţirea umectării	Apă, esteri, cetone, aromate, alifatice
Pigmenţi/masă de umplere	Nu liază	Facilitează asamblarea	Oxizi metalici, carbonati
Plastifianţi	Reduce fragilitatea bazei	Măreşte aderenţa şi rezistenţa	Esteri, ftalaţi, glicoli, polimeri
Agenţi de umectare	Reducerea tensiunii superficiale	Îmbunătăţirea aderenţei	Sulfaţi ai acizilor graşi
Alte componente	Specifice	Îmbunătăţirea prelucrabilităţii şi a durabilităţii	Stabilitate în timp, la lumină, îmbunătăţeşte umectarea

7.3.1. Tipuri de adezivi şi lianţi

Nu există adezivi universali, adecvaţi pentru orice combinaţie de materiale. O caracteristică importantă, care limitează utilizarea adezivilor este tensiunea superficială. Un adeziv nu trebuie să fie numai lichid, ci el trebuie să aibă o *tensiune superficială critică mai mică* decât cea a materialului pieselor de îmbinat. De exemplu, răşina epoxidică este un foarte bun adeziv pentru metale, zona lipiturii putând fi inclusiv acoperită cu polietilenă, dar răşina epoxidică nu poate lipi piese din polietilenă (tabelul 7.4.).

Aderenţa unui adeziv nu este dependentă de umectare; ea este efectul *forţelor de adeziune* – care apar la suprafaţa de contact dintre atomii şi moleculele substraturilor şi a adezivului, şi a *forţelor de coeziune* – care apar între moleculele proprii ale adezivului.

Dacă baza adezivului în combinaţie cu substratul pieselor îmbinării creează legături de valenţă principale, se pot obţine forţe de aderenţă foarte mari (5 000 MPa). Pentru legături covalente, forţele de aderenţă sunt mici (200 MPa); ca şi cele ale legăturii de hidrogen (500MPa).

Forţele de coeziune, rezistenţa stratului de adeziv cresc cu lungimea moleculei; deoarece o lungime prea mare reduce mobilitatea moleculei şi, deci, contactul dintre aceasta şi substraturi, se vor reduce şi forţele de adeziune; din această cauză, se recomandă un grad optim de polimerizare situat între 50 şi 300.

Din punct de vedere al execuţiei, rezistenţa lipiturii creşte când stratul de adeziv este mic (50-150 μm). Adezivul trebuie să aibă aceeaşi rezistenţă ca şi materialul substraturilor la un modul de elasticitate redus, astfel încât

suprasarcinile, în special cele situate la marginea îmbinării, să nu distrugă stratul de adeziv.

Tabelul 7.4. *Tensiunile superficiale critice*

Material	Simbol	Tensiunea superficială critică [10^{-11}N m $^{-1}$]
Politetrafluoretilenă-propilen	FEP	16,2
Politetraflouretilenă (teflon)	PTFE	18,5
Cauciuc siliconic	SI	21
Policlortrifluoretilenă	PCTFE	22
Polivinildenfluorid	PVOF	25
Polivinilfluorid	PVF	28
Polietilenă	PE	31
Polistiren	PS	33
Alcool polivinilic	PVAL	37
Polimetilmetacrilat	PMMA	39
Policlorură de vinil	PVC	39
Poliamidă 6.6	PA6.6	40
Polivinildenclorid	PDVC	40
Polietilenatereftalat	PETP	43
Rășină epoxidică	EP	44
Celuloza	-	200
Aluminiu	Al	500
Cupru	Cu	1 100
Fier	Fe	2 030
Wolfram	W	6 800

Tabelele 7.5 și 7.6 trec în revistă adezivii cei mai des utilizați în tehnică.

Tabelul 7.5. *Câteva tipuri de adezivi cu umectare*

Baza adezivului	Întărirea	Temperatura [^{0}C]	Utilizări
Rășini epoxidice EP	La rece La cald	20 100-200	Metale, duromeri, sticlă, ceramică
Rășini poliesterice UP	La rece La cald	20 80-120	Oțel-oțel, oțel-Al, metal-duromer, oțel-sticlă, Al-sticlă, otel, Al, Mg, Cu-ceramică
Rășini fenolice PF	La rece La cald	20 80-160	Fe, oțel, Al și aliaje, Ni, Cu, duromeri
Rășini siliconice și cauciuc	La rece La cald	20 >20	Cauciuc siliconic, benzi adezive, oțel-cauciuc siliconic îmbinări solicitate până la 200^{0}C
Poliuretan	La rece La cald	20 160	Polimeri superiori, duromeri, PVC moale, polisobutilen, poliamida, polifluorcarbon, nitrat și triacetat celulozic
Polibutadienă	La cald	130-180	Cauciuc, duromeri, metale (exceptat Cu și metalele prețioase)
Policloropren	La rece La cald	<20 100	PVC dur și moale, polistiren – cu cauciuc, metal, lemn, textile

Tabelul 7.5. (*continuare*)

Baza adezivului	Forma	Temperatura [^{0}C]	Utilizări
Polietilenă PE	Topită	135-175	Ţesături, folii, burete, polimeri superiori – cu metal
Poliisobutilen PIB	Adeziv de aderenţă	20	Benzi adezive; metal, sticlă, lemn, polietilenă, polistiren, metal – cu polietilenă, polistiren, poliisobutilen
Policlorură de vinil PVC	Lac Adeziv de rezistenţă Adeziv de reacţie	20; >20	Adeziv universal; PVC-PVC, metal, lemn, beton, PVC-duromeri, textile, hârtie
Acizi acrilici, derivaţi metacrilici	Topitură Lac Adeziv de rezistenţă Adeziv de reacţie Adeziv de aderenţă	135-175 20	Polimeri superiori (PMMA), polietilena, polipropilenă, poli-butadienă, polistiren, duromeri Metal, sticlă, benzi adezive
Cauciuc poliizoprenic IR	Adeziv de rezistenţă Adeziv de reacţie Adeziv de aderenţă		Cauciuc vulcanizat, metal-cauciuc, policloropren-metal, polibutadienă, cloroplaste PMMA – cu sticlă, cauciuc, polistiren, ABS, poliamidă
Polivinilacetat PVAC	Lac Adeziv de rezistenţă Adeziv de reacţie Topitură	20 85-110	Polimeri superiori, PVC, dispersii pentru polietilenă şi polipropilenă spume polistirenice, răşini epoxidice, poliester

Utilizarea adezivilor pe bază de polimeri superiori este multilaterală, ca de exemplu în următoarele aplicaţii:

- îmbinarea unor materiale greu sudabile : duromeri, polimeri armaţi cu fibre de sticlă, elastomeri, sticlă, ceramică, piese turnate din zinc, aliaje uşoare ;
- îmbinarea unor piese din materiale sudabile, dar care nu pot fi asamblate prin sudare datorită unor restricţii de alt ordin (constructiv sau tehnologic : piese de mici dimensiuni, cu pereţi subţiri – apărători, carcase etc.) : plastomeri, aliaje ;
- îmbinarea unor materiale similare sau diferite în vederea unor noi utilizări, sau al unei eficienţe superioare: metal-sticlă, metal-polimeri superiori, plăci uşoare de construcţii, metal-metal în structuri uşoare etc.

7.3.2. Proiectarea formei asamblarilor lipite cu adezivi

Pentru realizarea unor îmbinări nedemontabile prin lipire cu adezivi trebuie respectate următoarele recomandări generale:

- proiectarea formei asamblării trebuie să evite eforturile de clivaj şi exfoliere (fig. 7.4), asamblările cu adezivi rezistând bine la forfecare, întindere, compresiune, dar nu şi la clivaj sau exfoliere;
- lăţimea îmbinării este mult mai importantă decât lungimea acesteia (rezistenţa îmbinării nu este proporţională cu suprafaţa acesteia decât pentru

solicitări simple de întindere-compresiune; în cazul forfecării, efortul este concentrat la nivelul marginilor);

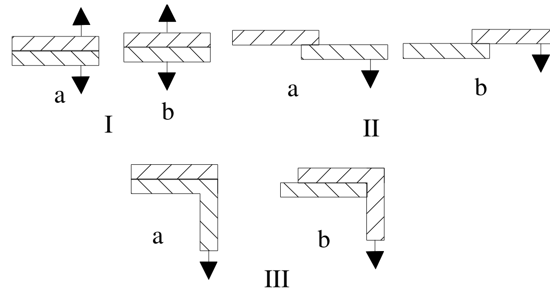


Fig. 7.4. Forma îmbinărilor cu adezivi dictată de solicitare:
I - sarcina acționând centrat evită apariția eforturilor de clivaj (b); II - eforturi reduse, clivaj mare (a); eforturi mari, clivaj redus (b); III - zona flexibilă la interior – eforturi de exfoliere (a); zona flexibilă la exterior – eforturi de forfecare, nu de exfoliere (b) ; cazul b este de preferat lui a.

- coeficientul de dilatare al îmbinării trebuie să fie apropiat de cel al materialelor de bază, deoarece solicitările de forfecare sunt generate de existența unor dilatări diferite (îmbinările plastic-metal pot genera astfel de probleme; de aceea se adaugă în adezivi aditivi speciali în scopul controlării coeficientului de dilatație şi adaptării acestuia la materialele de bază);

- sunt preferate straturile subțiri (filme) de adeziv în jur de 25 μm, deoarece straturile groase pot conține mai multe defecte, de tip fisuri şi goluri, şi nu răspund adecvat la încălzire (straturile groase se folosesc numai în cazul necesității unei rezistențe ridicate la impact);

- forma pieselor trebuie să permită menținerea curată şi curățirea uşoară a asamblării (suprafețele murdare sunt cauza principală a unei slabe rezistențe a îmbinării);

- calitatea suprafețelor asamblării trebuie să fie ridicată, pentru a permite o umectare corespunzătoare;

- îmbinările cap la cap sunt utilizate numai in cazul unor suprafete mari de contact şi când nu sunt eforturi de clivaj importante (figura 7.6);

- îmbinările cu margini suprapuse tind să se deformeze sub sarcină, generând la marginile îmbinării apariția eforturilor de clivaj – în cazul adezivilor rigizi, respectiv de exfoliere – pentru cei flexibili (figura 7.6); proiectarea corectă a formei pentru astfel de cazuri este arătată în figura 7.7;

- îmbinări de colț cu două materiale cu grosimi diferite sunt prezentate în fig. 7.8; numeroase soluții sunt posibile; forma preferată este aceea care necesită prelucrarea minimă; uneori, o pregătire suplimentară a îmbinării este recompensată de o curățire uşoară sau de posibilitatea utilizării unor metode mai bune de asamblare;

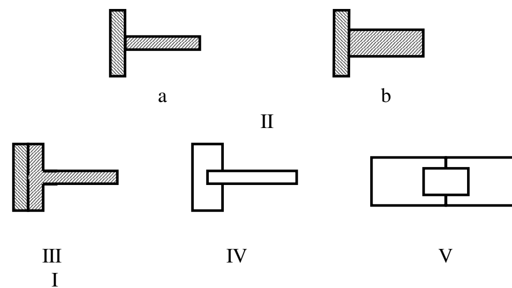


Fig. 7.5. Forma îmbinărilor cap la cap cu adezivi:
I.a. - rezistenţă redusă; I.b. - repartizare bună a eforturilor, rezistenţă redusă la încovoiere; II.a. - rezistenţă redusă; II.b. - rezistenţă mai bună; III - soluţie mai bună; IV - repartizare bună a eforturilor, rezistenţă bună la încovoiere; V - soluţie excelentă dar costisitoare.

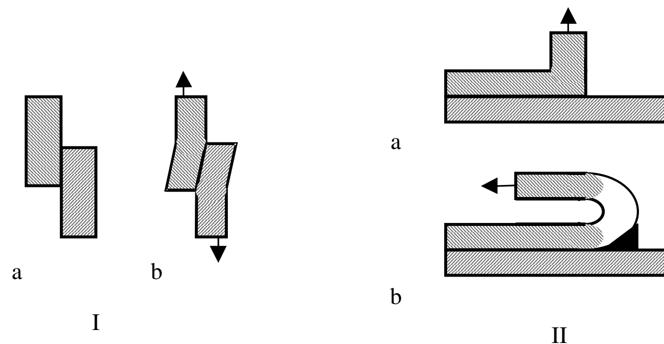


Fig. 7.6. Apariţia eforturilor de clivaj şi exfoliere în îmbinări suprapuse:
I - eforturi de clivaj; I.a. - îmbinarea în repaus; I.b. - îmbinarea solicitată la întindere; clivajul apare la marginile îmbinării; II - eforturi de exfoliere apar la marginea îmbinării între materialul flexibil şi cel rigid; II.a. - exfoliere la 90^0; II.b. - exfoliere la 180^0.

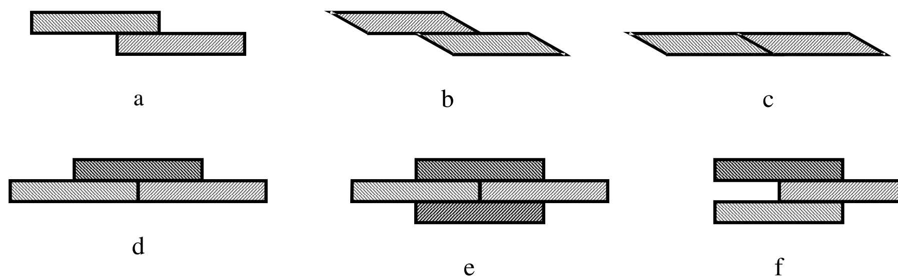


Fig. 7.7. Îmbinări suprapuse cu rezistenţă mărită la forfecare:
a – îmbinare suprapusă simplă; b – îmbinare suprapusă cu margini teşite, mai bună ca (a); c – îmbinare cap la cap cu margini teşite, bună pentru pereţi groşi; d – îmbinare cu eclisă simplă; e – îmbinare cu eclisă dublă; f – îmbinare cu suprapunere dublă, bună în cazul sarcinilor echilibrate.

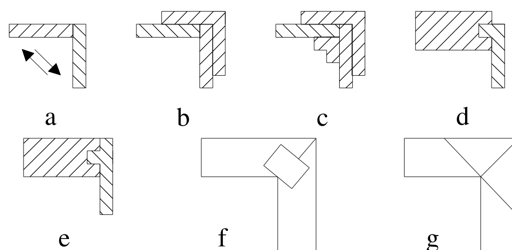


Fig. 7.8. Îmbinări de colț:
a – îmbinare cu slabă rezistență pe direcția diagonală; b, c – soluții îmbunătățite;
d – rezistență bună la întindere şi încovoiere; e – soluție bună dar costisitoare; f – soluție bună pentru profile plate; g – îmbinare cu colțare pe o parte sau pe ambele fețe, soluție excelentă dar costisitoare.

În figura 7.9 şi 7.10 se prezintă o serie de tipuri de îmbinări pentru bare şi țevi unde asamblările de colț sunt făcute cu coturi.

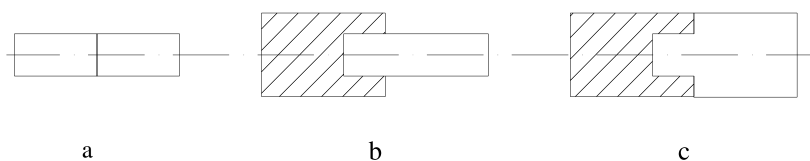


Fig. 7.9. Îmbinări de bare:
a – soluție bună pentru întindere, compresiune, rezistență slabă la încovoiere;
b, c – soluții îmbunătățite.

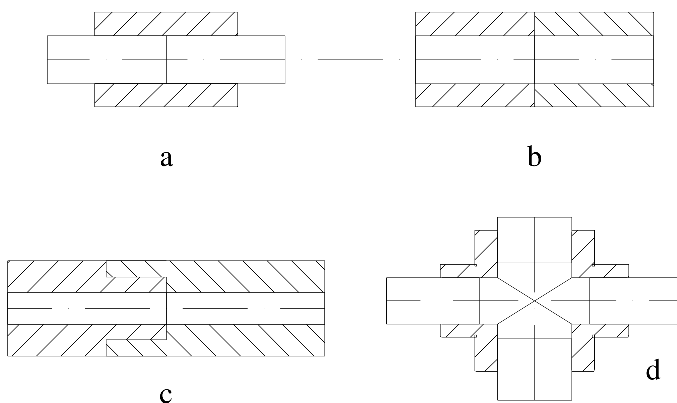


Fig. 7.10. Îmbinări de țevi:
a – soluție recomandată pentru bare şi țevi; b – soluție nerecomandată; c – soluție bună, depinde de grosimea peretelui; d – îmbinările care presupun schimbări de direcție se fac cu elemente tipizate (fitinguri).

7.4. LIPIREA CU ALIAJE DE LIPIT

Lipirea cu aliaje se aplică la îmbinarea pieselor metalice. Aliajul de lipit – aflat în stare topită – umectează substraturile şi umple prin capilaritate rostul (interstiţiul) dintre piesele de asamblat. Materialul pieselor de asamblat se topeşte la o temperatură superioară aliajului de lipit, piesele rămânând permanent în stare solidă. La lipirea moale, aliajul de lipit are punctul de topire (lichidus) sub 425 ^{0}C; de regulă aceste aliaje sunt pe bază de staniu şi plumb. Aliajele pentru lipire tare (brazare) se topesc peste 425 ^{0}C; ele sunt pe bază de cupru şi argint.

Lipirea moale se utilizează la îmbinări cu solicitări reduse, când este necesară o demontare ulterioară, şi când principalele cerinţe sunt de conductivitate electrică sau de etanşare.

Lipirea tare se utilizează la îmbinări solicitate puternic, de exemplu valori ale rezistenţei la rupere de 830 MPa pot fi realizate cu aliaje pe bază de argint. Brazarea se foloseşte când este nevoie de un tratament termic după asamblare; ea poate conferi şi o bună rezistenţă la coroziune.

7.4.1. Materiale pentru lipirea cu aliaje

Sunt realizate foarte multe tipuri de aliaje de lipit.

Aliajele pentru lipirea moale (tabelul 7.6) se caracterizează prin temperaturi de topire sub 425 ^{0}C, rezistenţă mecanică redusă, impurităţi minime.

Tabelul 7.6. *Câteva aliaje pentru lipirea moale*

Simbolizare DIN	Proprietăţi	Utilizări la lipirea pentru
L-Sn30Sb	Aliajele cu conţinut ridicat de Sn au fluiditate bună şi timp de solidificare redus	Radiatoare
L-Sn40Sb		Tinichigerie
L-Sn30Sb		Ambalaje de tablă subţire
L-Sn30(Sb)	Prin reducerea conţinutului în Sb creşte umectarea	Table zincate
L-Sn40(Sb)		
L-Sn30(Sb)		Lipiri fine în industrie
L-Sn 8	Aliajele cu conţinut redus de Sb se folosesc când se doreşte evitarea formării de compuşi intermetalici, cum ar fi la lipirea alamei	Ambalaje de tablă subţire
L-Sn60		Electrotehnică
L-Sn63		Contacte cositorite
L-SnAg3	Aliaj cu rezistenţă ridicată pentru reparaţii	Instalaţii de încălzire, tehnica frigului, mecanică fină, tehnică medicală
L-PbAg3	Aliaje recomandate pentru temperaturi joase	Electromotoare, tehnica frigului
L-SnSb5		Tehnica frigului, piese din cositor
L-SnPb32Cd18	Punct solidus scăzut, nu atacă straturile subţiri de Ag depuse pe piese, rezistenţă mecanică mai bună decât aliajele simple SnPb	Electrotehnică, electronică, componente sensibile la încălzire
L-CdZn10Ag10	Cea mai mare rezistenţă mecanică dintre aliajele pentru lipirea moale	Electromotoare, piese din oţel

Principalele sisteme de aliaje pentru lipirea moale sunt:

- *aliaje de staniu şi plumb*, cu 62% Sn, au o capacitate bună de umectare, interval de topire variabil, plasticitate bună, rezistență la coroziune; sunt folosite pentru asamblări şi etanşări în industria electronică şi electrotehnică, construcții de maşini, industria alimentară. Pot lipi materiale diverse: oțel, cupru, alamă, oțel zincat. Adaosuri de bismut de până la 2,5% îmbunătățesc rezistența mecanică, cele de cadmiu măresc fluiditatatea, iar cele de indiu cresc rezistența la coroziune;

- *aliajele de staniu şi zinc* au plasticitate ridicată, rezistență mecanică bună la temperaturi sub 100 ^{0}C, rezistență la coroziune în medii acide. Adaosurile de argint şi stibiu le îmbunătățesc proprietățile de lipire. Se folosesc pentru lipirea pieselor din aliaje de aluminiu şi magneziu;

- *aliajele de plumb* se folosesc pentru lipirea pieselor din cupru, nichel, aluminiu;

- *aliajele de zinc* se folosesc pentru lipirea pieselor din aliaje de aluminiu şi de zinc;

- *aliajele de cadmiu* se folosesc pentru lipirea pieselor din oțel, cupru, aluminiu şi a aliajelor de aluminiu;

- *aliajele de cadmiu şi staniu* se folosesc pentru lipirea cu ultrasunete a pieselor din aluminiu;

- *aliajele de bismut* au temperatură joasă de topire (150–50^{0}C) şi se folosesc pentru lipituri în regim automat.

Aliajele pentru lipirea tare (tabelul 7.7 şi 7.8) se caracterizează prin temperaturi de topire peste 425^{0}C, rezistență mecanică şi la coroziune ridicată şi umectare bună.

Tabelul 7.7. *Câteva aliaje pentru brazare*

Simbolizare DIN	Temperatură de lucru [^{o}C]	Utilizări
L-CuZn40	900	Oțel, fontă, Cu, aliaje deformabile de Cu, Ni şi aliaje deformabile de Ni
L-Cu	1100	Oțel nealiat
L-CuP8	710	Cu, alamă
L-Ag12Cd7	800	Cu, aliaje de Cu – rost mare al îmbinării
L-Ag20Cd15	750	Oțel, Fe, Cu, aliaje Cu – rost mare al îmbinării
L-Ag30Cd12	700	Cu, aliaje Cu – rost mic al îmbinării
L-Ag40Cd20	610	Cu, aliaje Cu, Aliaje Au-Pt, oțeluri rezistente la coroziune – rost mic al îmbinării, piese sensibile la încălzire, producția de masă
L-Ag49Mn7	690	Carburi dure, oțeluri aliate cu Cr, inox
L-Ag44	730	Cu, aliaje Cu, Fe, oțel – benzi de fierăstrău
L-Ag25	780	Cu, aliaje Cu, Fe, oțel – lipituri mari
L-Ag12	830	Cu, aliaje cu min 56%Cu, Fe, oțel – lipituri mari
L-Ag27	840	Carburi dure, oțeluri rezistente la coroziune– lipituri mici şi mari
L-Ag15P	710	Cu şi aliaje Cu, lamă, bronz – lipituri mici, lipirea țevilor
L-Ag50Cd10	670	Cu, aliaje Cu, Ag, aliaje Ag – lipirea pieselor mici

Principalele sisteme de aliaje pentru lipirea tare sunt:

- *aliajele cupru-zinc de tip alame*, cu adaosuri de staniu, siliciu, nichel, mangan;
- *aliajele cupru-argint*;
- *aliajele argint-cupru-zinc;*
- *aliajele argint-cadmiu-zinc;*
- *aliajele de aluminiu şi aliajele de magneziu* pentru lipirea aliajelor uşoare omonime;
- *aliajele fier-bor* pentru lipirea pieselor care lucrează la temperaturi înalte;
- *aliajele fier-managan* pentru lipirea oțelurilor inoxidabile, aliajelor de nichel;
- *aliajele fier-nichel-crom-mangan* pentru lipiri rezistente la coroziune;
- *aliajele fier-titan* pentru lipirea oxizilor de beriliu şi grafit, a ceramicii, a molibdenului, a niobiului, a titanului.

Tabelul 7.8. *Câteva caracteristici pentru aliajele folosite la brazare*

Simbolizare ASTM	**Compoziţe**	**Temp de topire [^oC]**	**Rostul optim [mm]**	**Utilizări**
B Ag-1	45Ag-15Cu-15,5Zn-24Cd	600	0,04-0,05	Uz general, fonte
B Ag-1a	50Ag-15,5Cu-16,5Zn-18Cd	635	0,04-0,05	Uz general, rezistență ridicată
B Ag-2	35Ag-26Cu-21Zn-18Cd	700	0,075-0,15	
B Ag-3	50Ag-15,5Cu-15,5Zn-16Cd-3Ni	630	0,075-0,15	Scule armate cu carburi
B Ag-4	40Ag-30Cu-28Zn-2Ni	650	0,075-0,15	W, stelit, aliaje refractare
B Cu	99+Cu	1080	0	Brazarea aliajelor feroase, încălzire în cuptor
B Cu Zn-1	60Cu-40Zn	900	0,05-0,13	Uz general, încălzire cu flacără şi inducție
B Cu P-2 B Cu P-5	93Cu-7P 15Ag-85Cu-5P	700 640	0,025-0,075 0,05-0,13	Aliaje neferoase
B Al Si-1	95Al-5Si	575	0,15-0,60	Aluminiu, uz general
B Al Si-3	86Al-10Si-4Cu	520	0,15-0,60	Aluminiu, încălzire prin imersie şi în cuptor
B Mg	89Mg-9Al-2Zn	415	0,10-0,25	Aliaje de magneziu
B Ni Cr	70Ni-16,5Cr-10C-Fe+-Si+	1010	0,05-0,13	Oţeluri inox şi înalt aliate cu nichel

Fluxurile pentru lipire se folosesc pentru curățirea suprafețelor de contact, prin dizolvarea oxizilor, pentru îmbunătățirea tensiunii superficiale a aliajului de lipit, prin mărirea fluidității aliajului şi mărirea difuziei. Temperatura de topire a fluxului trebuie să fie cu 100^0C inferioară temperaturii de topire a aliajului.

Densitatea fluxului trebuie să fie mai mică decât a aliajului, astfel încât să protejeze aliajul topit de contactul cu atmosfera. Vâscozitatea şi tensiunea superficială trebuie să fie reduse.

Fluxurile pentru lipire pot avea acțiune corozivă redusă, medie sau puternică. Fluxurile cu acțiune corozivă redusă sunt pe bază de colofoniu, alcool, stearină, parafină. Substanțele organice din componența fluxului se vaporizează la lipire şi nu au o acțiune corozivă ulterioară. Ele sunt folosite la lipirea moale a aliajelor de cupru, a staniului, cadmiului, la acoperirile cu argint sau aur, la lipirea cablurilor şi conexiunilor electrice în telecomunicații, electronică, electrotehnică.

Tabelul 7.9. *Câteva aliaje pentru lipirea materialelor diferite*

Simbolizare	Proprietăți	Utilizări
L-Ag49	Temperatură de lipire joasă, rezistență ridicată, recomandat pentru toate tipurile de carburi	Brazarea carburilor metalice pe suporți din oțel; Scule aşchietoare: cuțite de strung, freze, burghie, pânze de ferăstrău
Ag87Mn10Co3	Pentru scule puternic solicitate mecanic şi termic	
Cu99	Pentru carburi fragile	
L-Ag27		
Ag99	Lipituri pe suprafețe ceramice acoperite cu molibden	Îmbinări metal-ceramică; Componente electronice
PbSn	Lipituri pe suprafețe ceramice acoperite cu fier	
L-SnPbCd18	Lipituri pe suprafețe metalice acoperite cu argint	
In50Sn5	Lipituri cu ductilitate ridicată pe suprafețe de sticlă metalizată	Îmbinări metal-sticlă; Electronică, Construcția de aparate
Bi54Sn26Cd20		
Bi50Pb31,3Sn18,7		
SnPb		
Ti48Zr48b4	Rezistență ridicată la coroziunea metalelor în stare lichidă	Îmbinări metal-grafit
PbNiCr	Rezistență la temperaturi ridicate, tendință de formare a carburilor	
NiCrB		
AuNiCr		
Mo99	Coeficient de dilatare similar cu al grafitului	

Fluxurile cu acțiune corozivă medie sunt pe bază de substanțe organice (trietanolamină) în combinații de cloruri, fluoruri şi boruri.

Fluxurile cu acțiune corozivă puternică sunt pe bază de bor şi combinații fluoruri, cloruri. Ele se folosesc la lipirea tare.

Tabelul 7.10. *Câteva fluxuri puternic corozive pentru lipirea moale*

Compoziție	Utilizări
90-95%$ZnCl_2$, 5-10%NH_4Cl	Piese din oțel, Cu şi aliaje Cu
HCl, $ZnCl_2$, NH_4Cl	Piese din oțel inox
$ZnCl_2$, $SnCl_2$	Cu aliaje de lipit cu conținut redus de Sn, conținând Ag, Cd, Bi, Cu
90%$ZnCl_2$, 8%NH_4Cl, floururi alcaline	Piese din Al şi aliaje Al
$ZnCl_2$	Cu aliaje de lipit cu max. 30%Sn

Fluxurile se pot utiliza sub formă solidă de pulbere sau pastă, sub formă de soluţii lichide sau de băi topite. Băile topite au avantajul că asigură simultan şi încălzirea pieselor de lipit.

Pentru aliajele de cupru se recomandă o baie topită conţinând 40%$CaCl_2$ şi 60% KCl.

Pentru oţeluri se recomandă o o baie topită conţinând 70%$BaCl_2$ şi 30% NaCl.

Tabelul 7.11. *Câteva fluxuri pentru lipirea tare*

Compoziţie	Utilizări la lipirea
42%KCl, 46%NaCl, LiF	Piese din Al şi aliaje Al cu AlSi
26%H_3BO_3,17%Na_3PO_4	Piese din Cu şi aliaje Cu cu alame
77%H_3BO_3, 5%$Na_2B_4O_7$	Piese din aliaje neferoase
42%H_3BO_3, 32%$Na_2B_4O_7$, 2%NaF	
75%H_3BO_3, 5%$Na_2B_4O_7$, 15%Na_2SiF_6	Piese din oţel şi fontă, aliaje Cu
70%H_3BO_3, 30%Na_2SiF_6	Piese din oţel şi aliaje Cu
23%H_3BO_3, 46%$Na_2B_4O_7$, 15%NH_4NF_2	

7.4.2. Proiectarea asamblărilor lipite cu aliaje

Asamblările lipite cu aliaje sunt compuse, de cele mai multe ori, din una sau mai multe piese din tablă de oţel, îmbinate cu piese prelucrate prin aşchiere, forjate, mai rar turnate.

Asamblările lipite cu aliaje se utilizează atunci când există următoarele cerinţe:

- piesele de îmbinat sunt confecţionate din materiale metalice diferite (de exemplu, o plăcuţă aşchietoare din carbură metalică sinterizată brazată pe o portsculă din oţel);
- forme complexe ale pieselor de îmbinat şi greutate redusă impusă asamblării;
- forma piesei este prea complicată pentru a fi economică prelucrarea dintr-o singură bucată de material, piesa prezintă pereţi subţiri, cerinţele de precizie şi rezistenţă sunt importante;
- este necesară realizarea etanşeităţii (piese de tipul tancurilor, rezervoarelor şi recipientelor);
- pentru asamblări din industria electronică şi electrotehnică.

Proiectarea formei asamblării depinde de mai mulţi factori, între care cerinţele de rezistenţă şi de utilizare a pieselor sunt pe primul plan, uneori trebuie luate în considerare: etanşeitatea şi conductibilitatea îmbinării; compoziţia aliajului de lipit şi a materialului de bază.

Câteva recomandări de ordin general de care trebuie să se ţină seama la proiectarea îmbinărilor lipite cu aliaje de lipit sunt:

- se vor utiliza, ori de câte ori este posibil, asamblări cu margini suprapuse,

care permit controlul uşor al zonei îmbinării (lățime şi interstițiu); asamblările cap la cap nu sunt recomandate, deoarece ele au o rezistență mecanică scăzută;

- asigurarea capilarității, care să permită materialului de adaos să pătrundă în zona îmbinării;

- lățimea îmbinării să fie suficient de mare, astfel încât, rezistența lipiturii să fie cel puțin egală cu a materialului de bază (de cel puțin 3 ori grosimea peretelui cel mai subțire, figura 7.11; figura 7.12);

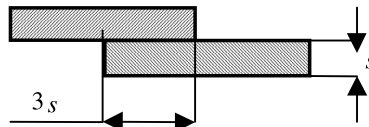
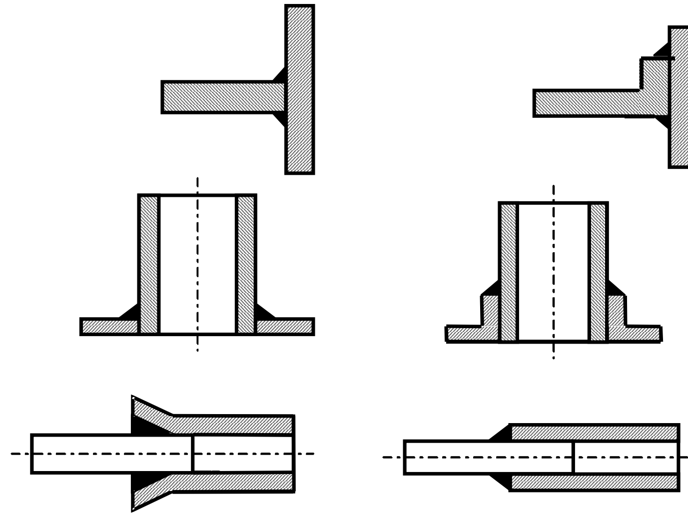


Fig. 7.11. Lățimea minimă a îmbinării.


Fig. 7.12. Forma îmbinăriilor lipite cerută de condiția de rezistență a lipiturii: stânga greşit; dreapta corect.

- interstițiul dintre piese în zona îmbinării este critic pentru rezistența lipiturii; el depinde de fluiditatea materialului de adaos (de regulă, interstițiul se ia între 0,025-0,20 mm; în medie, 0,10 mm);

- forma rostului îmbinării lipite depinde şi de modul de introducere a aliajului de lipit; ori de câte ori este posibil, se va utiliza capilaritatea verticală descendentă, care permite o pătrundere maximă a aliajului în interstițiu;

- asigurarea poziției corecte a pieselor în timpul îmbinării se preferă a fi făcută prin insăşi forma asamblării; fapt ce permite o fixare sigură, rapidă, economică (figura 7.13);

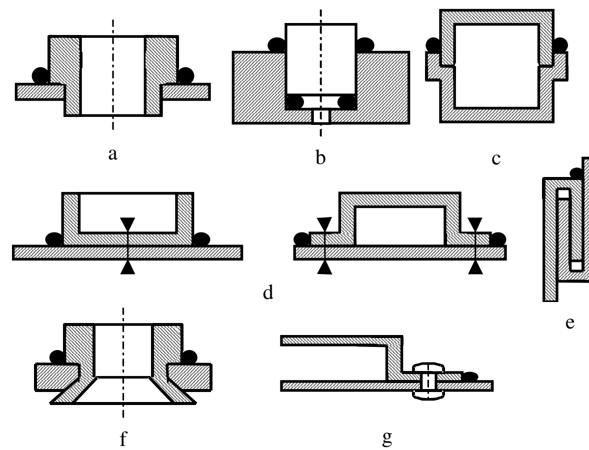


Fig. 7.13. Forma îmbinăriilor lipite cerută de condiția de poziționare-fixare:
a-c – capilaritate verticală descendentă – materialul de adaos curge gravitațional; d – capilaritate orizontală, fixare cu punct de sudură; e-f – capilaritate verticală descendentă, fixare prin deformare plastică; g – capilaritate orizontală, fixare cu nituri.

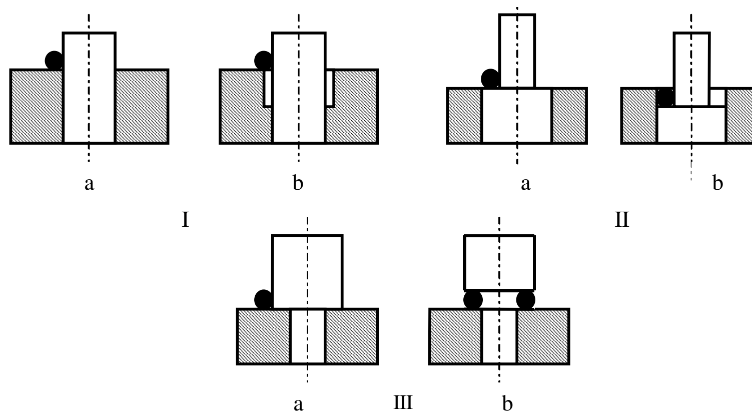


Fig. 7.14. Forma îmbinăriilor lipite dictată de condiția de introducere a aliajului de lipit:
I-III capilaritate verticală descendentă – materialul de adaos curge gravitațional;
a-nerecomandat; b-corect.

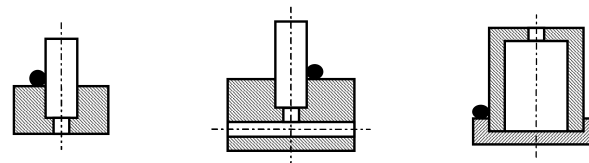


Fig. 7.15. Forma îmbinăriilor lipite cerută de condiția de evacuare a gazelor.

7.4.3. Tehnologii de lipire cu aliaje

Tehnologiile de lipire cu aliaje se deosebesc între ele prin metoda de încălzire. Încălzirea asamblării se poate face diferit; cele mai răspândite metode fiind:

- încălzirea cu ciocanul de lipit – numai a aliajului de lipit; se foloseşte la lipirea moale
- încălzirea cu flacără de gaze;
- încălzirea în cuptor;
- încălzirea CIF;
- încălzirea prin imersie în:
    - baie de aliaj de lipit
    - baie de săruri topite (flux);
- încălzirea prin rezistență electrică;
- încălzirea cu lămpi de infraroşu.

Pe întreaga durată a încălzirii trebuie să se asigure menținerea curată a substraturilor cu ajutorul fluxurilor sau a atmosferei protectoare. Încălzirea poate fi locală (parțială), la piesele mari, sau completă (a întregii piese), la piesele mici.

Toate tehnologiile de lipire au în comun o serie de operații, cum sunt:

- curățirea zonei îmbinării (decapare şi degresare, curățire mecanică şi chimică);
- asamblarea pieselor şi fixarea acestora cu dispozitive după caz;
- acoperirea suprafețelor îmbinării cu flux;
- depunerea aliajului de lipit pe suprafețele îmbinării;
- alegerea sursei termice;
- încălzirea şi topirea aliajului de lipit;
- răcirea pieselor şi solidificarea aliajului;
- controlul asamblării;
- tratamente ulterioare (tratamente termice, tratamente anticoroziune, sablare, şlefuire, vopsire etc.);
- controlul final.

O problemă deosebită este alegerea sursei termice. Aceasta depinde în primul rând de temperatura de lucru; de forma pieselor şi de productivitatea care se cere. Dintre procedeele cu largă aplicabilitate menționăm.

7.4.3.1. Încălzirea cu ciocane de lipit

Încălzirea cu ciocane de lipit se aplică pentru lipirea moale, prin depunere sau capilaritate. Încălzirea se face prin conducție, căldura fiind cedată de capul ciocanului, încălzit în prealabil cu: rezistență electrică (letcon), cu flacără de gaze, lampă cu benzină. Partea activă a ciocanelor de lipit este confecționată din aliaje de cupru, capabile să acumuleze şi să cedeze rapid căldura. Volumul părții active este direct proporțional cu cantitatea de căldură acumulată/cedată. Dimensiunile de

contact ale ciocanului trebuie să corespundă dimensiunilor asamblării. Lipirea cu ciocanul se face manual.

7.4.3.2. Încălzirea cu flacără

Încălzirea cu flacără se aplică la îmbinarea pieselor de dimensiuni mari, cu grosimi diferite, de forme diverse, atât pentru lipirea moale, cât şi pentru brazare. Arzătoarele pentru lipire trebuie să cedeze căldura pe toată suprafaţa îmbinării, ele putând fi mobile sau fixe, acţionate manual sau mecanizat.

La lipirea moale se folosesc arzătoare cu gaze combustibile (acetilenă, hidrogen, metan, propan, butan) şi aer comprimat.

Lipirea cu flacără se poate face prin depunere sau prin capilaritate.

7.4.3.3. Încălzirea în cuptor

Încălzirea şi lipirea pieselor se face în cuptor, fără aportul operatorului. Lipirea se face prin capilaritate,. Se pot lipi mai multe piese simultan, încălzirea şi răcirea făcându-se controlat, atmosfera de lucru putând fi controlată (normală, protectoare, reducătoare, vid), calitatea îmbinării fiind constantă. Procedeul se pretează uşor la mecanizare şi automatizare. În aceeaşi incintă se poate face şi tratamentul pieselor după lipire. Se aplică pieselor de mărime mică şi medie (sub 3kg).

7.4.3.4. Încălzirea cu curenţi de înaltă frecvenţă (CIF)

Încălzirea şi lipirea pieselor se face prin inducţie, piesele de lipit constituind circuitul secundar al unui transformator, în timp ce circuitul primar este inductorul, legat la sursa de curent de înaltă frecvenţă (10 – 1 000 kHz). Lipirea se face prin capilaritate. Încălzirea este rapidă, poate fi controlată şi dirijată, procedeul poate fi mecanizat şi automatizat. Sursele de frecvenţă joasă (10-12 kHz) se folosesc pentru piese masive. Inductoarele sunt confecţionate din ţeavă de cupru electrolitic, de forme care urmăresc conformaţia geometrică a pieselor de îmbinat şi poziţia îmbinării. Inductoarele sunt răcite cu apă. Încălzirea se poate face din exterior, din interior sau pe suprafaţă. Lipirea cu încălzire prin CIF se poate face şi în atmosferă controlată.

7.4.3.5. Încălzirea prin imersie

Încălzirea şi lipirea pieselor se face prin imersarea lor într-o topitură de aliaj de lipit, flux sau săruri. Încălzirea se face cu viteză constantă, aliajul de lipit este protejat împotriva oxidării. Procedeul poate fi mecanizat şi automatizat, se pot realiza lipituri de lungime mare sau mai multe lipituri simultan. La încălzirea prin imersare în baie de săruri sau flux topit, piesele încălzite se scot din baie, se pune materialul de adaos în zona îmbinării şi se produce lipirea prin capilaritate. La

lipituri de formă complexă se face cufundarea pieselor într-o a doua baie, cu aliaj de lipit. La imersarea numai în baia de metal topit lipirea se face direct. Suprafața băii de metal topit poate fi controlată electromagnetic sau hidraulic, astfel încât să formeze valuri periodice care să intre controlat în contact cu piesele de îmbinat (lipirea cu val a componentelor electronice pe circuitele imprimate) – astfel se poate menține la minimum volumul băii de metal topit, precum şi controlul asupra încălzirii pieselor de lipit.

7.4.3.6. Încălzirea prin rezistență electrică

Încălzirea pieselor se poate face direct, prin punerea piesei în contact cu doi electrozi, sau indirect, prin încălzirea dintr-o singură parte (figura 7.16).

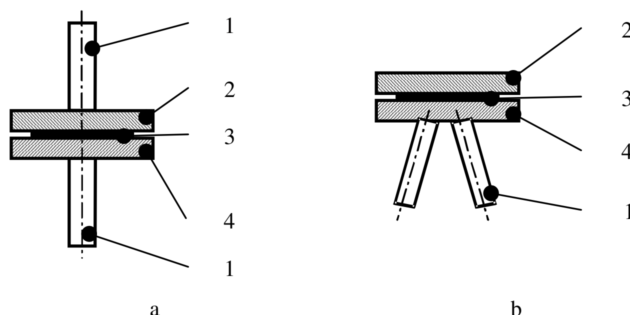


Fig. 7.16. Încălzirea prin rezistență electrică:
1 – electrozi; 2, 4 – piese de îmbinat; 3 – material de adaos;
a – încălzire directă; b – încălzire indirectă.

Lipirea se face prin capilaritate. Instalațiile pentru lipire prin rezistență electrică sunt asemănătoare celor folosite la sudarea prin rezistență. Se lucrează cu tensiuni mai mari, densități de curent mai mici şi durate de încălzire mai mari. Nu se folosesc fluxuri, pentru că măresc rezistența electrică în circuitul de încălzire.

Se aplică pieselor de mărime mică şi medie. Asamblarea este de lungime mică.

7.4.3.7. Încălzirea cu lămpi de infraroşu

Se aplică pieselor de dimensiuni reduse în producția de serie mare şi masă. Procesul poate fi complet automatizat şi pot fi utilizate incinte cu vid sau atmosferă controlată. Lipirea se face prin depunere sau capilaritate. Cantitatea de căldură cedată este redusă.



OBȚINEREA PIESELOR PRIN AŞCHIERE

8.1. IMPORTANȚA PRELUCRĂRII PRIN AŞCHIERE ÎN ANSAMBLUL PROCEDEELOR DE PRELUCRARE

8.1.1. Noțiuni generale

Realitatea actuală confirmă faptul că prelucrarea prin aşchiere este şi va rămâne timp îndelungat principala metodă tehnologică de execuție a pieselor de precizie, a maşinilor, instalațiilor, mecanismelor şi aparatelor cu cele mai variate roluri funcționale.

Acest gen de prelucrare se caracterizează printr-un înalt grad de productivitate, având avantaje nete față de alte forme de generare a suprafețelor, mai ales în industriile de serie mică şi unicat. Metoda prezintă şi unele dezavantaje legate de: manopera ridicată, consumul mare de scule şi presupune uneori utilajele cele mai complexe, dezavantaje care sunt însă neglijabile în raport cu avantajele sale.

Prelucrarea prin aşchiere are la bază o proprietate tehnologică foarte importantă pentru oricare material numită aşchiabilitate sau uzinabilitate.

Uzinabilitatea (prelucrabilitatea prin aşchiere) reprezintă capacitatea unui material de a-şi modifica forma, corespunzător scopului propus, prin desprindere de particule sau microparticule materiale sub acțiunea unor forțe exterioare.

Prelucrarea prin aşchiere apelează la o serie de cunoştințe dobândite la disciplinele de: matematică, desen, geometrie descriptivă, mecanică, rezistența

materialelor, mecanisme, termotehnică, toleranţe şi măsurători tehnice, fiind procedeul de prelucrare care asamblează o mare diversitate de cunoştinţe, punând studentul sau specialistul în situaţia de a-şi forma un sistem gândire şi asociere a unor cunoştinţe aparent disparate.

8.1.2. Probleme actuale şi de perspectivă ale prelucrării prin aşchiere

În etapa actuală de dezvoltare a construcţiei de maşini se manifestă următoarele tendinţe predominante:

- creşterea presiunilor şi a puterilor, la care sunt solicitate elementele componente ale diferitelor utilaje şi instalaţii, şi extinderea temperaturilor de lucru negative şi pozitive în condiţii de fiabilitate sporită, necesită materiale cu proprietăţi fizice, chimice şi mecanice deosebite (duritate foarte mare, tenacitate ridicată, rezistenţă înaltă la coroziune, refractaritate deosebită etc.);
- evoluţia dimensiunilor de gabarit ale aparatelor, utilajelor şi instalaţiilor către cele două extreme: ultraminiaturizarea şi miniaturizarea (în construcţia aparatelor de măsură, electronică, electrotehnică), pe de o parte, şi gigantizarea (în construcţia agregatelor din industria chimică, metalurgică, constructoare de maşini, construcţia autostrăzilor, marilor căi navigabile, hidrocentrale, metrouri etc.), pe de altă parte;
- reducerea substanţială a consumurilor de energie, combustibil convenţional şi folosirea cu maximum de eficienţă a materiilor prime şi resurselor energetice;
- asimilarea de către industrie a metodelor de prelucrare cu profit maxim, cu productivitatea cea mai ridicată şi cu obţinerea unei fiabilităţi corespunzătoare.

Aceste tendinţe presupun utilizarea din ce în ce mai largă a unor materiale de construcţie greu şi foarte greu prelucrabile (materiale de înaltă rezistenţă, materiale refractare dure şi extradure etc.), care impun ca o necesitate obiectivă elaborarea unor noi metode şi tehnologii de prelucrare prin aşchiere, noi materiale, noi tipuri de scule aşchietoare, precum şi perfecţionarea continuă a maşinilor-unelte aşchietoare. De aceea, la proiectarea oricărui proces tehnologic de execuţie a unei piese este necesar a se stabili mai întâi eficienţa acestuia, exprimată în principal prin următorii indicatori: calitatea piesei prelucrate; siguranţa în funcţionare a produsului; productivitatea prelucrării; costul procesului; consumul de energie; consumul de materii prime; protecţia mediului şi a operatorului.

Fiecare din aceşti indicatori sunt influenţaţi în mod diferit de o serie de factori ce apar în procesul de aşchiere, de aceea este imperios necesară o optimizare a procesului tehnologic respectiv.

Utilizarea în construcţia de maşini şi aparate a unor astfel de materiale greu prelucrabile, creşterea nivelului de automatizare a prelucrării prin aşchiere şi

apariţia sistemelor adaptive şi autoadaptive, precum creşterea cerinţelor de precizie şi calitate a prelucrării ridică noi probleme în faţa ştiinţei despre aşchierea materialelor.

Aşchierea unor materiale piroforice, radioactive, refractare, dure sau extradure, moi sau supermoi, impun noi cerinţe în privinţa:

- alegerii schemei tehnologice de prelucrare;
- alegerii regimului optim de aşchiere;
- construcţiei sculei aşchietoare;
- construcţiei maşinii-unelte;
- protecţiei operatorului etc.

De exemplu, la prelucrarea oţelurilor de construcţie în cosmos, sunt necesare noi metode de prelucrare, deoarece vidul ridicat distruge pelicula de oxizi, determinând sudarea sculei cu piesa de prelucrat.

În cazul prelucrării pe maşini cu sisteme adaptive, pe maşini-unelte cu comenzi numerice, în liniile automate sau pe sistemele de maşini este necesară o descriere matematică a influenţei condiţiilor de aşchiere asupra caracteristicilor de bază ale procesului de aşchiere. Deci, o problemă importantă pe plan teoretic o reprezintă înlocuirea, pe cât posibil, a relaţiilor de calcul empirice, pentru determinarea forţelor, vitezelor de aşchiere şi a altor parametrii, cu relaţii analitice bazate pe legile fizicii solidului, ale mecanicii, termodinamicii etc.

8.1.3. Aspecte ale dezvoltării în timp a teoriei aşchierii şi a teoriei maşinilor-unelte

Necesităţile de ordin practic (confecţionarea uneltelor de muncă, a armelor de vânătoare, apoi a armelor de luptă, realizarea unor obiecte de uz casnic sau ornamentale) au determinat apariţia primelor maşini-unelte cu ajutorul cărora se confecţionează aceste obiecte din lemn, piatră, os sau metal.

Lăsând la o parte maşinile-unelte rudimentare pentru realizarea unor găuri cu dornul sau prin rotirea sculei ca o coardă înfăşurată a unui arc, precum şi cele pentru confecţionarea unor roţi ale carelor de luptă (utilizate cu peste 3 500 ani înainte de Cristos), se poate vorbi pentru prima oară despre o maşină-unealtă, mai apropiată de concepţia actuală, având distincte cele două lanţuri cinematice (principal şi de avans), de-abia în secolul al XVI-lea (prima maşină de găurit ţevi de tun din lemn datează din 1540).

Dezvoltarea industriei mineritului în Anglia a determinat realizarea unor pompe mai perfecţionate pentru scoaterea apei din abataje (T.Newcomen − 1727, Sweaton −1765, Wilkenson −1775), pompe care necesitau existenţa unor maşini-unelte de alezat cilindric pentru pistoane. Realizarea acestor maşini de alezat a permis apariţia invenţiei secolului (maşina cu abur cu dublu efect, cu regulator

centrifugal, a scoţianului James Watt – 1769). O a doua etapă în dezvoltarea maşinilor-unelte o constituie construirea primului strung cu avans mecanic al saniei portcuţit cu ajutorul unui şurub conducător (H.Mandsley – 1797), declanşându-se construirea în serie a altor maşini-unlete. Are loc o dezvoltare accentuată a maşinilor-unelte materializată în construirea maşinilor de rabotat (1815), de frezat (1820), de rectificat (1880), de broşat (1910), dezvoltare facilitată atât de progresul înregistrat de ştiinţă şi tehnică (electrotehnică, mecanică teoretică, mecanica fluidelor, electronică), cât şi a ştiinţei proprii despre aşchierea materialelor. Introducerea motorului electric asincron (1890) şi a acţionărilor hidraulice (1880), într-o primă formă, şi după 1923, în formă mai evoluată au determinat o adevărată revoluţie în dezvoltarea construcţiei de maşini-unelte. Apariţia primelor sisteme de reglare automată (sisteme de urmărire-copiere automată) şi a comenzilor numerice (primele studii apar în 1942), iar în ultimele decenii datorită unor progrese fără precedent în domeniul calculatoarelor, ciberneticii, microelectronicii, fluidicii, microprocesoarelor etc. (în contextul celei de a doua revoluţii industriale) conduc la mutaţii profunde în automatizarea maşinilor-unelte (utilizarea pe scară largă a maşinilor cu comenzi numerice - NC, conducerea cu calculatorul a acestor maşini - CNC şi DNC, introducerea sistemelor adaptive şi optimale de comandă).

În strânsă corelaţie cu dezvoltarea maşinilor-unelte are loc şi evoluţia sculelor aşchietoare. Trecerea de la scule fabricate din oţel-carbon de scule la cele din oţel rapid (1890-1910) a însemnat o creştere a vitezei de aşchiere de la 5m/min la 50m/min, iar trecerea la scule de sinteză din carburi metalice sau mineralo-ceramice a condus la creşterea vitezelor de la 50m/min la 200…300m/min (1925-1930). Ultimele două decenii se caracterizează prin noi progrese în domeniul materialelor de sinteză, realizându-se scule din nitrură cubică de bor (borazon) şi pe bază de diamant artificial, care se caracterizează printr-o înaltă rezistenţă la uzură şi prelucrarea cu viteze de aşchiere mari si foarte mari.

Abia după 70 de ani de la realizarea primului strung modern apar şi primele teorii ale aşchierii aparţinând lui F.W.Taylor şi J.A.Time (1870). În continuare, practica este cea care furnizează teoriei un bogat material faptic de studiu în perfecţionarea aparaturii de cercetare, măsură şi control, ridicând teoria aşchierii la cel mai înalt grad de dezvoltare, prin lucrările elaborate de nume prestigioase ca Treska, Mallok, Zvorîkin, Aleris, Usaciov, Rosenberg, Krownberg, Duca, Lăzărescu, Botez, Popovici şi alţii.

8.1.4. Noţiuni de bază privind generarea suprafeţelor prin aşchiere

În construcţia de maşini, elementele de construcţie mecanică, organele de maşini, sculele, elementele de dispozitive şi de verificatoare etc., cunoscute sub

denumirea de piese, sunt în realitate corpuri solide delimitate în spațiu de un număr de suprafețe ce se află într-o anumită combinație. Fiecare din suprafețele componente ale unei piese se caracterizează:

- printr-o formă geometrică (teoretică);
- prin dimensiuni în diferite direcții ;
- prin poziția relativă în raport cu alte suprafețe;
- printr-un anumit grad de netezire (rugozitate).

Aceste patru grupe de caracteristici constituie *condițiile tehnice de generare (execuție) a suprafețelor*, prin care se determină deci: forma, mărimea, dispunerea în spațiu şi calitatea suprafețelor componente ale unei piese. În funcție de aceste caracteristici, suprafețele componente ale unei piese se împart în patru categorii (vezi § 1.2.3.3).

Studiul fiecărei suprafețe în parte, prin prisma condițiilor tehnice de generare ce i se impun, conduce la determinarea rolului funcțional al piesei de la care se porneşte în proiectarea procesului tehnologic de realizare a acesteia.

Aşa cum se cunoaşte din capitolele anterioare, majoritatea suprafețelor ce delimitează o piesă în spațiu se obțin prin procedeele primare (turnare, deformare plastică, metalurgia pulberilor, sudare etc.), dar în anumite limite pentru cele patru caracteristici. Pentru suprafețele care au caracteristici ce nu pot fi generate prin procedeele primare (de regulă suprafețele funcționale şi suprafețele de asamblare) se prevăd *adaosuri de prelucrare*, care se îndepărtează printr-un procedeu de prelucrare prin aşchiere. De exemplu, pentru piesa prezentată în figura 8.1 (un bloc motor), condițiile impuse de alezajele ∅100H7, unde se prevede o abatere maxim admisă de la circularitate sub formă de ovalitate de 0,02mm şi o abatere de la cilindricitate sub formă de conicitate de 0,03mm, nu pot fi realizate prin nici un procedeu tehnologic primar (turnare, deformare plastică etc.). De asemenea, condițiile de poziție relativă dintre axele alezajelor ∅100H7 şi suprafețele plane frontale interioare ale celor două paliere nu pot fi realizate prin procedee tehnice primare. Pe toate aceste suprafețe vor fi prevăzute *adaosuri de prelucrare*, care nu pot fi îndepărtate decât printr-un anumit procedeu de prelucrare prin aşchiere.

Procedeul tehnologic de generare (prelucrare) prin aşchiere a unei suprafețe de formă, dimensiuni, poziție relativă şi rugozitate cunoscute şi date, în desenul de execuție, presupune că pentru a începe generarea trebuie să existe o suprafață de început - care se numeşte *suprafață inițială*.

Suprafața obținută în urma generării prin aşchiere se numeşte *suprafață prelucrată*. Dimensiunile suprafeței inițiale vor fi mai mari decât ale suprafeței prelucrate, diferența dintre ele fiind *adaosul de prelucrare*.

Pentru procedeele de prelucrare prin aşchiere, piesa-semifabricat inițială, delimitată în spațiu de suprafețele inițiale care se află într-o anumită combinație, poartă numele de *semifabricat* (obținut prin procedeele tehnologice de: turnare,

sudare, deformare plastică etc.).

Fig. 8.1. Câteva din condițiile tehnice de generare impuse anumitor suprafețe ale unui bloc motor.

Forma semifabricatului şi mărimea adaosului de prelucrare depinde de: natura materialului, procedeul tehnologic primar de obținere, dimensiunile, greutatea şi complexitatea formei piesei finite, precizia dimensională şi a poziției relative a suprafețelor, rugozitatea, precum şi de caracterul producției de realizare a piesei finite (individuală, serie mică, mijlocie, masă). De exemplu, arborele din (figura 8.2. c) poate fi obținut pornind de la un semifabricat inițial de forma unei bare laminate sau trase (fig.8.2. a) sau de la un semifabricat matrițat sau turnat (fig.8.2. b), mărimea adaosului de prelucrare diferind substanțial.

Procedeul tehnologic de prelucrare prin aşchiere este procedeul de generare a suprafețelor prelucrate, prin îndepărtarea adaosului de prelucrare, efectuată de tăişul unei scule aşchietoare, ce se deplasează relativ față de piesa-semifabricat, printr-o mişcare rezultantă bine definită. Ansamblul fenomenelor fizice, prin care se produce transformarea adaosului de prelucrare în aşchii,

detaşarea acestora şi generarea suprafeţei prelucrate se numeşte *proces de aşchiere*. Adaosul de prelucrare este variabil, de la o generare la alta putând fi mai mare sau

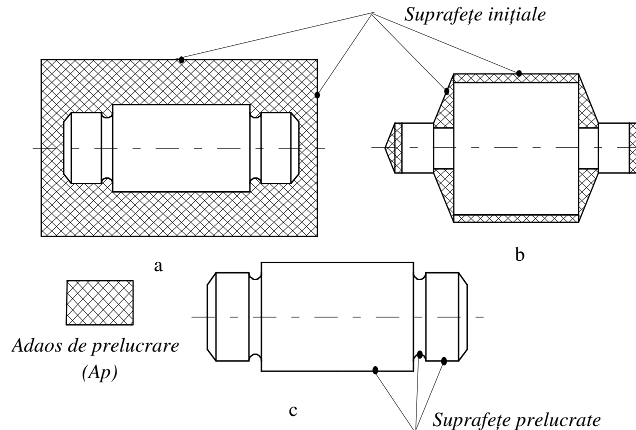


Fig. 8.2. Adaosuri de prelucrare:
a – la obţinerea piesei prin aşchierea din bară; b – la obţinerea piesei prin turnare sau matriţare; c – arbore cu suprafeţele prelucrate (piesa finită).

mai mic Prin urmare, în mişcarea relativă dintre tăişul sculei şi adaosul de prelucrare, acesta se poate îndepărta în întregime, dintr-o dată, sau în mai multe etape, numite *treceri*. Stratul din adaosul de prelucrare ce se găseşte la un moment dat în faţa tăişului sculei aşchietoare şi urmează să fie detaşat sub formă de aşchie, într-un ciclu cinematic al mişcării relative dintre sculă şi semifabricat, se numeşte *strat de aşchiere*, iar suprafaţa generată - *suprafaţă de aşchiere*.

Pentru exemplificare se consideră cazul obţinerii unei suprafeţe plane prin aşchiere (fig. 8.3. a) şi a unei suprafeţe cilindrice exterioare (fig. 8.3. b).

Pentru a se putea îndepărta stratul de aşchiere parţial, scula trebuie să fie adusă periodic (după fiecare ciclu cinematic), în faţa unui nou strat de aşchiere similar. În acest scop, scula efectuează o mişcare de avans, cu o viteză de avans $\overline{v}_f$, pe distanţa $aa' = f$, numită *avans,* şi notată cu f (conform ISO3002/3).

Divizarea adaosului de prelucrare în straturi parţiale şi în straturi de aşchiere se poate face în următoarele moduri (fig. 8.4):

- *divizare în sensul adâncimii adaosului de prelucrare* (fig. 8.4. a şi b), reprezentând aşchierea cu scule profilate, scula deplasându-se numai în sensul adâncimii adaosului de prelucrare A_p, printr-o mişcare de avans transversal. În aceste cazuri straturile de aşchiere au lăţimi mari şi forme identice cu ale tăişului sculei (pentru suprafeţe de lungime mică);

- *divizare în sensul lăţimii adaosului de prelucrare* (fig. 8.4. c), la care

straturile de aşchiere sunt îndepărtate printr-o mişcare de avans longitudinal $\bar{v}_{fl}$ efectuată în sensul lăţimii adaosului. Se aplică atunci când tăişul sculei nu poate cuprinde întreaga lăţime a adaosului (pentru suprafeţe de lungime mare);

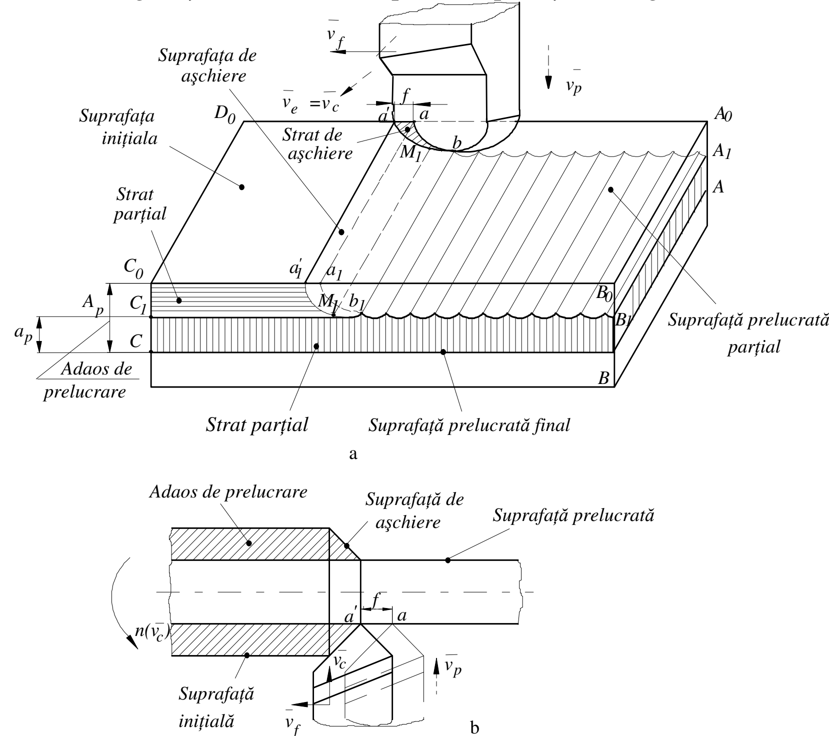


Fig. 8.3. Elementele generării prin aşchiere:
a – a unei suprafeţe plane; b – a unei suprafeţe cilindrice: $\bar{v}_c$ - viteza mişcării principale de aşchiere; $\bar{v}_f$ - viteza mişcării de avans; $\bar{v}_e$ - viteza de aşchiere rezultantă; $\bar{v}_p$ - viteza avansului de pătrundere; *f* - avansul de aşchiere; *n* - turaţia mişcării de rotaţie; A_p - adaosul de prelucrare; a_p - adâncimea de aşchiere.

- *divizare în sensul lungimii adaosului de prelucrare* (fig. 8.4. d), la care straturile de aşchiere sunt îndepărtate printr-o mişcare a sculei sau a piesei în sensul lungimii adaosului de prelucrare, cu o viteză de avans director $\bar{v}_{fd}$;

- *divizare mixtă* (fig. 8.4. e), o combinaţie a modurilor de divizare de mai sus şi se aplică atunci când adaosul de prelucrare trebuie îndepărtat în mai multe treceri.

Schema modului de divizare a adaosului de prelucrare în straturi parţiale sau straturi de aşchiere şi a modului în care se succede îndepărtarea acestora se numeşte *schemă de aşchiere*.

Pentru ca scula să poată desprinde un strat de aşchiere din adaosul de prelucrare, trebuie ca, între ea şi piesă, să existe următoarele tipuri de mişcări:

- *mişcarea principală de aşchiere* realizează procesul de desprindere al aşchiei de pe suprafaţa semifabricatului. Se execută cu o viteză principală de aşchiere $\overline{v}_c$ efectuată de către sculă sau piesă;

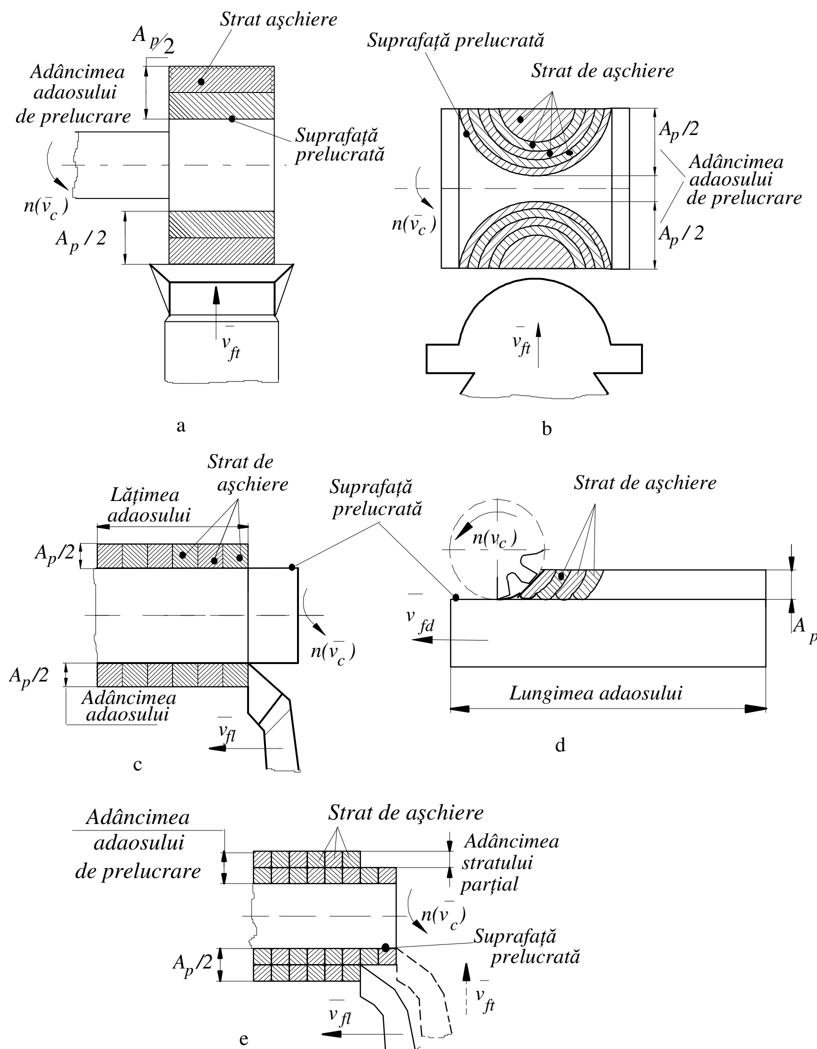


Fig. 8.4. Diferite moduri de divizare a adaosului de prelucrare:
a,b - în sensul adăncimii adaosului; c - în sensul lăţimii adaosului; d - în sensul lungimii adaosului; e -

mixt: $\overline{v}_{ft}$ - viteza avansului transversal; $\overline{v}_{fl}$ - viteza avansului longitudinal; $\overline{v}_{fd}$ - viteza avansului pe dinte; $\overline{v}_{c}$ - viteza mişcării principale de aşchiere; *n* - turația mişcării principale de aşchiere; A_p - adaos de prelucrare; a_p - adâncimea de aşchiere.

- *mişcarea de avans* realizează aducerea de noi straturi de material în fața tăişului sculei, deoarece acesta nu poate cuprinde dintr-o dată întreaga suprafață de prelucrat. Se efectuează cu o viteză de avans $\overline{v}_f$, fie de către sculă, fie de piesa de prelucrat;

- *mişcarea de aşchiere* realizează îndepărtarea adaosului de prelucrare, rezultând din compunerea în spațiu a mişcării principale şi a mişcării de avans. Se execută cu o viteză $\overline{v}_e$;

- *mişcări complementare* realizează potrivirea sau poziționarea sculelor în raport cu piesa, în vederea îndepărtării întregului adaos de prelucrare conform cu schema de aşchiere adoptată.

Tipul şi numărul mişcărilor simple, necesare a fi combinate pentru a se obține mişcarea relativă dintre scula aşchietoare şi piesa-semifabricat, depinde de modul cum se concepe a fi realizată cinematic generarea unei suprafețe prelucrate de o anumită formă dată, prin îndepărtarea adaosului de prelucrare, deci *de schema de aşchiere* alcătuită. Fiecare procedeu de generare prin aşchiere a unei suprafețe, de o anumită formă dată, conduce la stabilirea *cinematicii maşinii-unelte* pe care să se execute generarea respectivă.

8.1.5. Noțiuni generale despre principalele procedee de generare prin aşchiere

Principalele procedee de prelucrare (generare) prin aşchiere sunt: rabotarea, mortezarea, strunjirea, găurirea, lărgirea, adâncirea, alezarea, frezarea, broşarea şi rectificarea.

8.1.5.1. Rabotarea

Este procedeul de generare prin aşchiere a suprafețelor, ce constă în combinarea unei mişcări principale de aşchiere, totdeauna rectilinie alternativă, executată de sculă sau piesă, cu o mişcare de avans-rectiliniu intermitent, executată de sculă sau pies (fig.8.5). Se execută cu ajutorul unor scule aşchietoare de tipul *cuțitelor*, pe *maşini-unelte de rabotat*.

Atunci când mişcarea rectilinie alternativă este efectuată de sculă, procedeul se numeşte *rabotare transversală* (fig. 8. 5. a şi b) şi se execută pe maşini-unelte numite *şepinguri,* iar când este efectuată de piesa-semibafricat, procedeul se numeşte *rabotare longitudinală* (fig. 8.5. c şi d) şi se execută pe maşini-unelte numite *raboteze*. Sculele folosite se numesc *cuțite de rabotat.*

Indiferent de tipul rabotării, mişcarea de aşchiere $\overline{v}_e$ se confundă cu

mişcarea principală de aşchiere $\overline{v}_c$ şi este o mişcare rectilinie alternativă. Prin rabotarea transversală se pot obţine suprafeţe: plane orizontale (fig. 8.5. a), verticale (fig. 8.5. b), înclinate, precum şi diferite forme de canale pe piese de dimensiuni mici şi mijlocii. Rabotarea longitudinală permite generarea suprafeţelor plane de lungime mare, orizontale (fig. 8.5. c), verticale (fig. 8.5. d), precum şi a suprafeţelor profilate (ghidajele batiurilor, săniilor şi meselor de la maşinile-unelte).

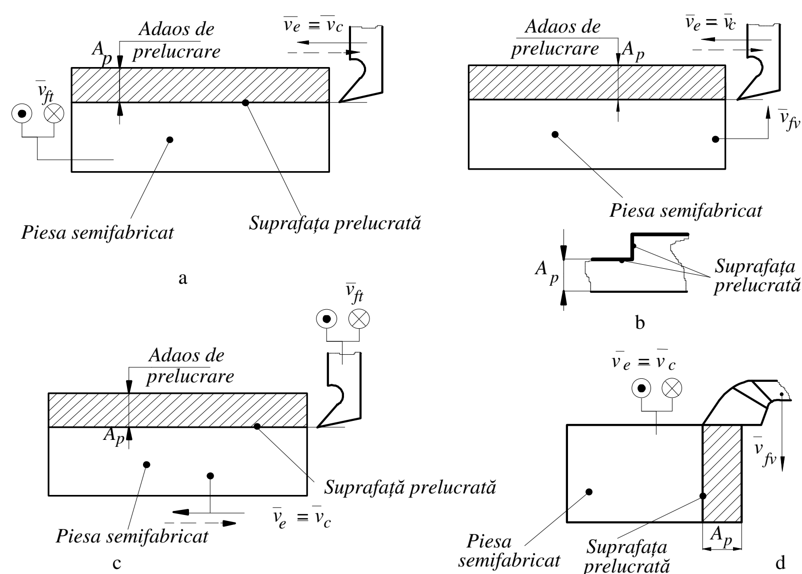


Fig. 8.5. Generarea suprafeţelor prin rabotare:
a, b - transversală; c, d - longitudinală: $\overline{v}_c$ - viteza mişcării principale de aşchiere; $\overline{v}_{ft}$ - viteza mişcării de avans transversal; $\overline{v}_{fv}$ - viteza mişcării de avans vertical; A_p - adaosul de prelucrare.

8.1.5.2. Mortezarea

Este procedeul de generare prin aşchiere a suprafeţelor ce constă în combinarea unei mişcări principale de aşchiere – totdeauna rectilinie alternativă, executată de sculă, cu o mişcare de avans – rectilinie sau circulară, intermitentă, executată de piesa–semifabricat.

Procedeul se execută cu *cuţite de mortezat* pe maşini-unelte numite *morteze*. Cinematica de generare prin acest procedeu este asemănătoare cu cea a rabotării transversale pe şepinguri, cu deosebirea că mişcarea rectilinie alternativă a cuţitului se efectuează într-un plan vertical (fig.8.6). Piesa semifabricat este imobilă în timpul executării mişcării principale cu $\overline{v}_c$, pentru ca la sfârşitul cursei

pasive ea să execute mişcări intermitente de poziţionare, ce pot fi de avans longitudinal $\overline{v}_{fl}$, de avans transversal $\overline{v}_{ft}$ sau de avans circular $\overline{v}_{fc}$, în funcţie de forma suprafeţei generate. Se pot genera prin acest procedeu suprafeţe plane, circulare sau profilate, interioare sau exterioare, precum şi canale sau caneluri de diferite forme.

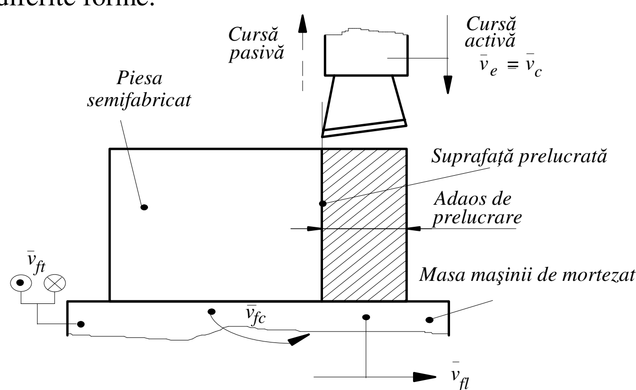


Fig. 8.6. Generarea suprafeţelor prin mortezare: $\overline{v}_c$ - viteza mişcării principale de aşchiere; $\overline{v}_{ft}$, $\overline{v}_{fc}$, $\overline{v}_{fl}$ - viteza mişcării de avans transversal şi respectiv circular, longitudinal; $\overline{v}_e$ –viteza mişcării de aşchiere.

8.1.5.3. Strunjirea

Este procedeul de generare prin aşchiere a suprafeţelor, ce constă în combinarea unei mişcări principale de aşchiere – totdeauna de rotaţie, executată de piesă, cu o mişcare de avans – rectilinie, circulară sau combinată totdeauna executată de sculă.

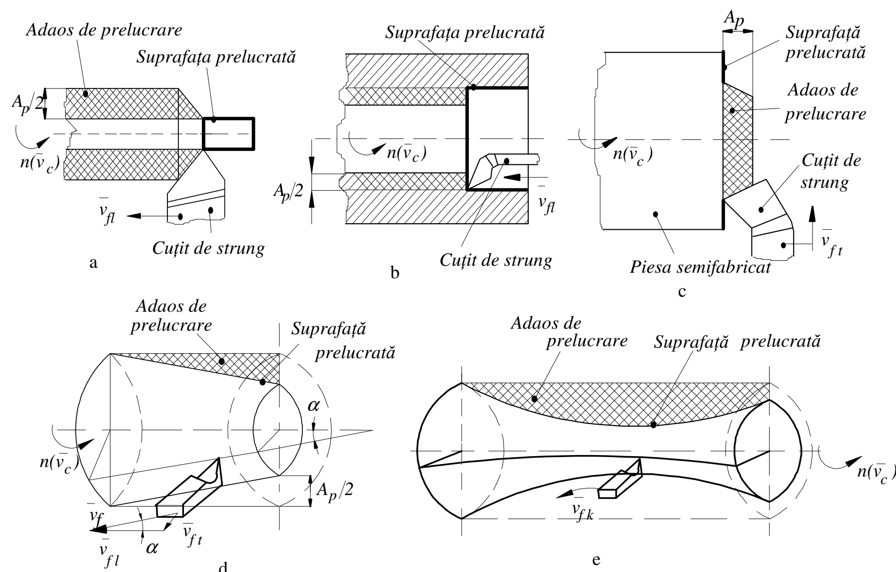


Fig. 8.7. Generarea suprafețelor prin strunjire:
a - cilindrică exterioară; b - cilindrică interioară; c - frontală; d - conică; e – profilată; $n(\bar{v}_c)$ - viteza mişcării principale de aşchiere; $\bar{v}_{fl}$; $\bar{v}_{ft}$; $\bar{v}_{fk}$ - viteza mişcării de avans longitudinal, respectiv transversal sau combinat; $\bar{v}_f$ - viteza mişcării de avans.

Procedeul se execută cu scule aşchietoare de tipul *cuțitelor de strung,* pe maşini-unelte numite *strunguri.*

Mişcarea rectilinie a cuțitului este mişcarea de avans de generare şi se poate executa în diferite planuri (orizontal, vertical, înclinat), în funcție de tipul strungului pe care se realizează generarea. Astfel, la strungul normal, mişcarea de avans a cuțitului se efectuează în plan orizontal, de obicei pe direcție longitudinală (fig. 8.7. a şi b), transversală (fig. 8.7. c), înclinată (fig. 8.7. d) sau complexă (fig. 8.7. e).

Prin strunjire pe strungul normal se pot obține şi alte forme de suprafețe, păstrându-se ca bază cinematica de generare caracteristică acestui procedeu, dar folosindu-se dispozitive adecvate.

8.1.5.4. Burghierea, lărgirea, adâncirea, alezarea

Sunt procedee de generare prin aşchiere a suprafețelor laterale (cilindrice, conice etc) şi frontale (plane, teşite, profilate etc.) ale găurilor, ce constau în combinarea unei mişcări principale de aşchiere – totdeauna de rotație şi executată de sculă cu o mişcare de avans rectilinie, executată de sculă şi/sau piesă.

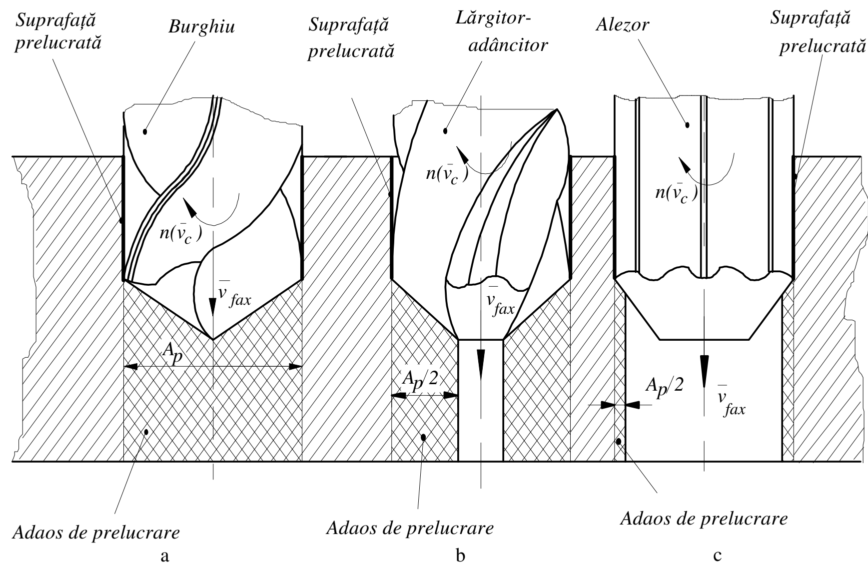


Fig. 8.8. Generarea suprafețelor prin:
a - burghiere; b - lărgire- adâncire; c - alezare; $\bar{v}_c$ - viteza mişcării principale de aşchiere;
$\bar{v}_{fax}$ - viteza mişcării de avans; A_p - adaos de prelucrare.

Aceste procedee se execută cu scule aşchietoare de găurire specifice, *burghie, lărgitor, adâncitor, alezor,* pe *maşini-unelte de găurit.* Cinematica de generare a suprafețelor prin aceste procedee rezultă din combinarea unei mişcări principale de aşchiere totdeauna de rotație, efectuată de regulă de scula aşchietoare cu viteza $\bar{v}_c$, cu o mişcare rectilinie de avans, cu caracter continuu, efectuată de regulă tot de scula aşchietoare cu viteza $\bar{v}_{fax}$. Astfel, burghierea este procedeul la care se generează găuri în materialul plin (fig.8.8. a), lărgirea şi adâncirea sunt procedee prin care se măresc dimensiunile şi precizia găurilor obținute prin burghiere sau prin turnare şi matrițare (fig.8.8. b), iar alezarea este procedeul de generare cu ajutorul unor scule numite alezoare, în scopul realizării unei precizii dimensionale ridicate şi micşorării rugozității suprafețelor prelucrate (fig. 8.8. c).

8.1.5.5. Frezarea

Este procedeul de generare prin aşchiere a suprafețelor, ce constă în combinarea unei mişcări principale de aşchiere – totdeauna de rotație şi executată de sculă, cu mişcări de avans – rectilinii, circulare, combinate – executate de piesă şi/sau sculă.Procedeul se execută cu scule speciale de forma unor corpuri de rotație prevăzute cu mai multe tăişuri, numite *freze*, pe *maşini-unelte de frezat*

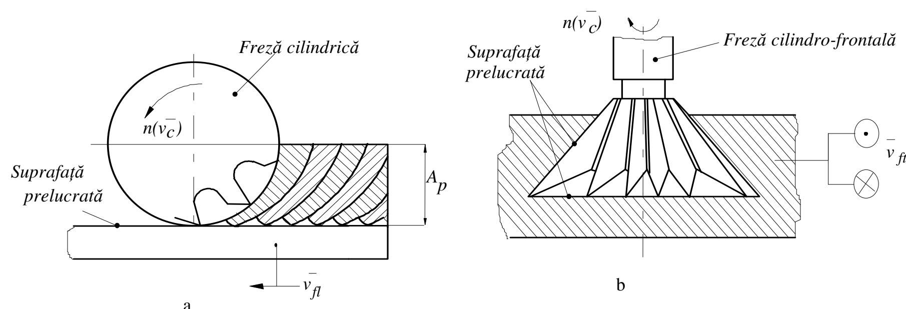


Fig. 8.9. Generarea suprafeţelor prin frezare:
a - cu freză cilindrică; b - cu freză cilindro –frontală; $\overline{v}_c$ - viteza mişcării principale de aşchiere;
$\overline{v}_{fl}$; $\overline{v}_{ft}$ - viteza mişcării de avans longitudinal, respectiv transversal.

Mişcarea de rotaţie se execută totdeauna de către sculă, ea fiind mişcarea principală de aşchiere, iar mişcarea de avans este executată, de regulă, de piesa-semifabricat, fiind o mişcare de avans director în sens longitudinal (fig. 8.9. a), transversal (fig. 8.9. b) sau vertical.

8.1.5.6. Broşarea

Este procedeul de generare prin aşchiere a suprafeţelor, ce constă în combinarea unei mişcări principale de aşchiere – totdeauna rectilinie, circulară sau elicoidală şi executată de sculă sau piesa-semifabricat, cu o mişcare de avans constructiv (rezultată din construcţia sculei aşchietoare). Procedeul se execută cu ajutorul unor scule aşchietoare speciale numite *broşe,* pe *maşini-unelte de broşat.*

În cazul broşării cu acţiune discontinuă (fig. 8.10. a), broşa execută mişcarea principală $\overline{v}_c$, cu caracter continuu şi într-un singur sens, în urma căreia suprafaţa se generează dintr-o singură trecere a broşei. Broşarea cu acţiune continuă (fig. 8.10. b) se caracterizează prin generarea fără întrerupere, datorită mişcării principale rectilinii continue $\overline{v}_c$ executate de piesele-semifabricat, broşa fiind fixă pe batiul maşinii de broşat.

Prin broşare se pot genera găuri cu cele mai diferite profile, canale drepte şi elocoidale, suprafeţe exterioare plane şi profilate, dinţii roţilor dinţate interioare sau exterioare etc.

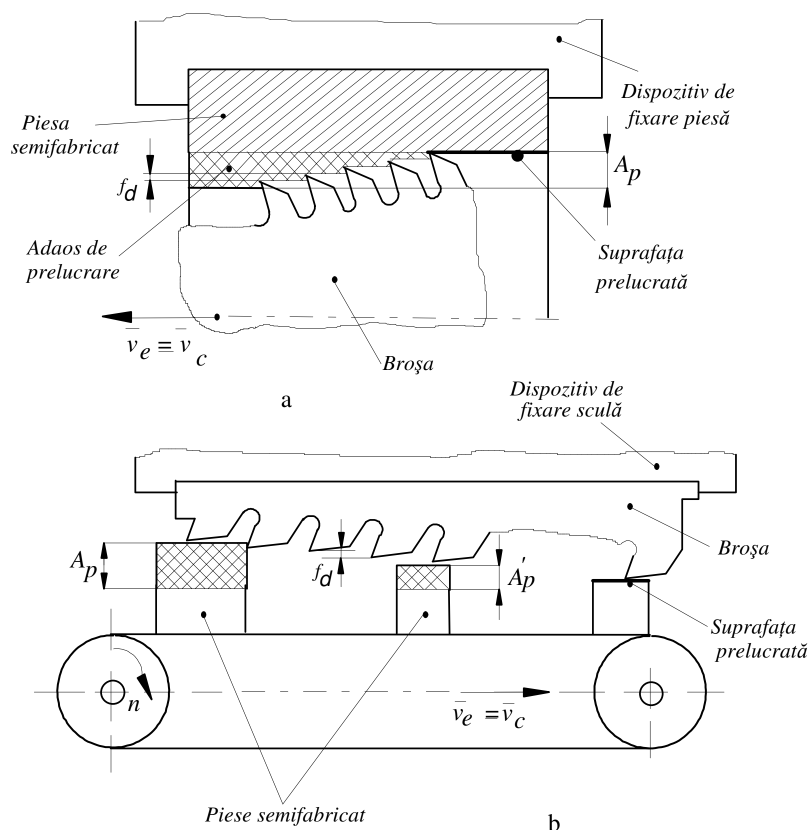


Fig. 8.10. Generarea suprafețelor prin:
a – broşare discontinuă; b – broşare continuă; $\bar{v}_c$ - viteza mişcării principale de aşchiere; $\bar{v}_e$ - viteza mişcării de aşchiere; f_d - avansul pe dinte; A_p ; A'_p – adaos de prelucrare.

8.1.5.7. Rectificarea

Este procedeul de generare prin aşchiere a suprafețelor, ce constă în combinarea unei mişcări principale de aşchiere – totdeauna de rotație şi executată de sculă, cu o mişcare de avans – rectilinie, circulară sau combinată – executată de piesa – semifabricat şi/sau sculă.

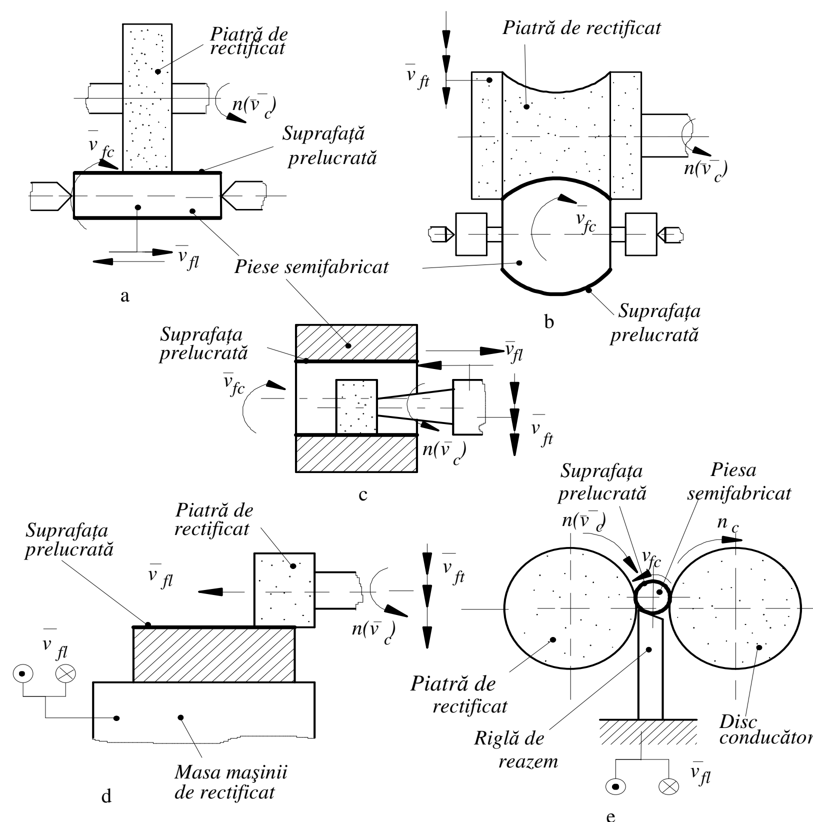


Fig. 8.11. Generarea suprafețelor prin:
a – rectificare longitudinală; b – rectificare transversală; c – recificare rotund interioară;
d – rectificare plană; e - rectificare fără centre: $\overline{v}_c$ - viteza mişcării principale de aşchiere;
$\overline{v}_{fl}$; $\overline{v}_{ft}$; $\overline{v}_{fc}$ - viteza mişcării de avans longitudinal şi respectiv transversal sau circular; *n* - turația mişcării principale; n_c - turația discului conducător.

Procedeul se execută cu ajutorul unor scule aşchietoare denumite *pietre de rectificat*, pe *maşini-unelte de rectificat*, în scopul obținerii unei mai mari precizii dimensionale şi a unei calități superioare a suprafeței. Cinematica de generare a suprafețelor prin rectificare constă în existența unei mişcări de rotație, efectuată întotdeauna de scula aşchietoare, ea constituind mişcarea principală de aşchiere $\overline{v}_c$, şi a unui anumit număr de mişcări rectilinii circulare sau combinate, executate de piesa-semifabricat sau de sculă, ca mişcări de avans. Numărul şi tipul mişcărilor de avans sunt în funcție de forma suprafeței de rectificat, în acest sens distingându-se: rectificarea longitudinală (fig. 8.11. a); rectificarea transversală (fig. 8.11. b); rectificarea rotund interioară (fig. 8.11. c); rectificarea plană (fig. 8.11. d); rectifi-

carea fără centre (fig. 8.11. e) etc.

8.2. ELEMENTE DE TEORIA GENERĂRII SUPRAFEȚELOR PE MAŞINI-UNELTE

8.2.1. Generarea teoretică şi generarea reală a suprafețelor

Generarea teoretică a suprafețelor se poate face în mai multe moduri (vezi § 2.9.2, vol.I), dar modul care corespunde cel mai bine condițiilor de generare a suprafețelor reale şi cinematicii maşinilor-unelte *este deplasarea unei curbe în spațiu.* Curba care se deplasează şi care generează suprafața este denumită *curba generatoare G*, iar traiectoria descrisă de un punct oarecare, al ei, în timpul deplasării, este denumită *curba directoare D.*

În cazul generării suprafețelor reale pe maşini-unelte, deplasarea generatoarei în lungul directoarei este dată tocmai de mişcarea tăişului sculei în lungul traiectoriei directoarei. Prin urmare, muchia aşchietoare a tăişului sculei materializează pe o anumită porțiune a sa un element generator al suprafeței reale, ce se va numi *generatoare elementară* G_E (porțiunea *abc* din întreaga muchie aşchietoare $A'B'$ din figura 8.12. a).

Mărimea porțiunii *abc* depinde de avansul f şi de adâncimea adaosului de prelucrare. Realizarea întregii curbe generatoare *G* se obține prin deplasarea generatoarei elementare G_E în lungul generatoarei geometrice cu viteza v_g.

În cazul generării suprafețelor reale, la procedee ca frezarea şi rectificarea, directoarea *D* se realizează ca traiectorie a unui element generator denumit *directoare elementară* D_E (porțiunea *abc* din figura 8.12. b) în lungul directoarei teoretice *D*, efectuată cu viteza $\overline{v}_d$.

Deoarece la baza construcției şi geometriei părtii active a sculelor aşchietoare stă construcția şi geometria cuțitului simplu, schema de generare a unei suprafețe reale oarecare, corespunzătoare cazului general, poate fi considerată ca în figura 8.13, cuprinzând:

- elementul generator G_E, care trebuie să efectueze o mişcare în lungul generatoarei teoretice *G*, după anumite legi, cu viteza $\overline{v}_g$, în scopul realizării traiectoriei generatoare *G*;

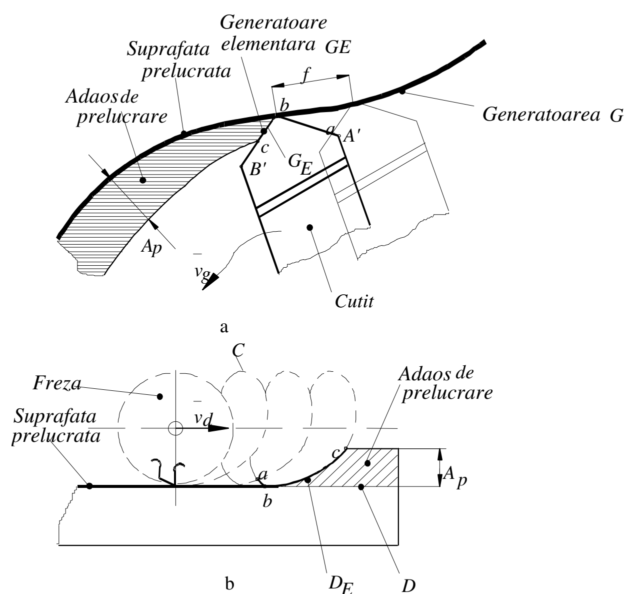


Fig. 8.12. Generarea suprafeţelor reale pe maşini-unelte:
a – realizarea generatoarei *G*; b – realizarea directoarei *D*.
$\bar{v}_g$ - viteza de deplasare a generatoarei elementare;
$\bar{v}_d$ - viteza de deplasare a directoarei elementare.

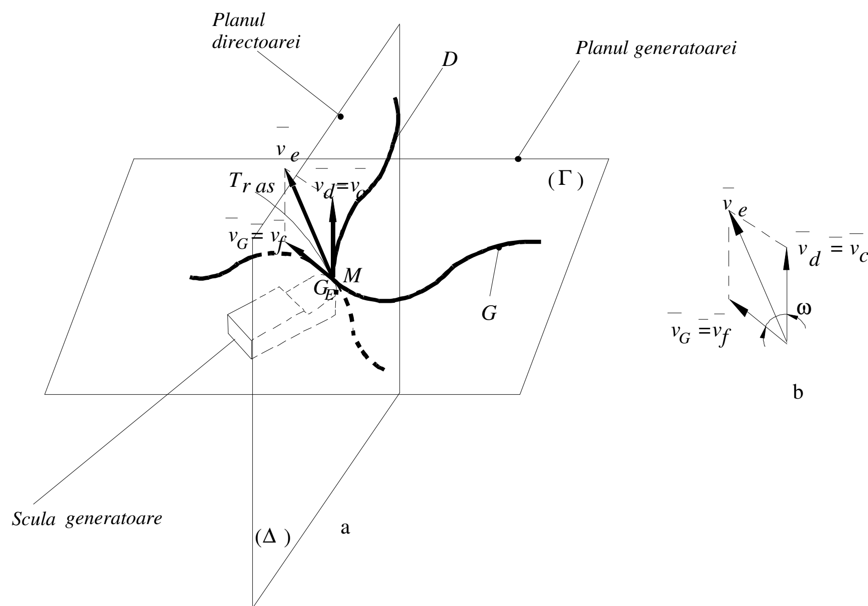


Fig.. 8.13. Cazul general de generare a unei suprafeţe reale (prelucrate):
a - deplasarea punctului *M* în lungul generatoarei *G* şi directoarei *D*; (Γ) –planul generatoarei; (Δ) –planul directoarei; b - compunerea vitezelor; ω - unghiul de compunere.

- elementul generator G_E, care trebuie să se deplaseze simultan şi în lungul directoarei *D*, după alte legi, cu viteza $\overline{v}_d$, în scopul realizării traiectoriei directoarei *D*.

8.2.2. Realizarea traiectoriei generatoarei

Pentru realizarea traiectoriei generatoarei *G* a suprafeţelor este necesară o mişcare a elementului generator G_E după anumite legi, ce constituie modurile practice de generare a suprafeţelor reale pe maşini-unelte. Conform acestor moduri practice,traiectoria generatoare se poate realiza ca: *generatoare materializată, generatoare cinematică* şi *generatoare programată.*

8.2.2.1. Generatoarea materializată

Se întâlnesc trei cazuri de realizare a generatoarei prin materializarea ei de către muchia aşchietoare a sculei:

- când întreaga muchie aşchietoare constituie generatoarea elementară G_E (fig. 8.14. a – strunjire profilată, şi figura 8.14. b - frezarea danturii roţilor dinţate cu freza disc-modul);

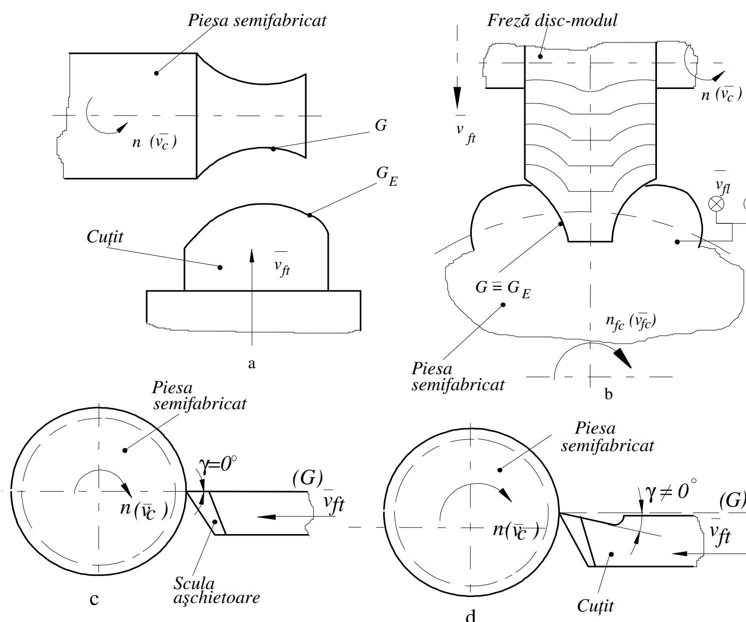


Fig. 8.14. Realizarea generatoarei materializate:
a - strunjirea profilată; b - frezarea danturilor cu freze disc - modul; c - când $\gamma = 0$; d - când generatoarea *G* reprezintă proiecţia circulară sau ortogonală a muchiei aşchietoare pe planul (Γ).

- când unghiul dintre planul generatoarei (Γ) şi planul muchiei este nul ($\gamma = 0^0$ ca în figura 8.14. c);

- când $\gamma \neq 0^0$ dacă generatoarea *G* rezultă din proiecţia circulară sau ortogonală a muchiei aşchietoare pe planul (Γ) ca în cazul din figura 8.14. d.

Materializarea generatoarei prin muchia aşchietoare a sculei este posibilă numai în cazurile în care lungimea acesteia nu este prea mare, deoarece cu creşterea lungimii muchiei aşchietoare apar dificultăţi în construcţia sculei şi a maşinii-unelte.

8.2.2.2. Generatoarea cinematică

Generatoarea cinematică se poate realiza în două moduri:

- *ca traiectorie a deplasării unui punct* (fig. 8.15. a). Acest caz se întâlneşte atunci când generatoarea *AB* a suprafeţei prelucrate este mai lungă decât elementul generator G_E, materializat de muchia sculei aşchietoare. Pentru a realiza întreaga generatoare *G* trebuie deplasat periodic elementul generator G_E, (*abc*), într-o mişcare paralelă cu *G*, cu viteza $\overline{v}_g$. Ca urmare, suprafaţa prelucrată generată cu astfel de traiectorie generatoare, prezintă ondulaţii cu pasul *f* şi înălţimea *h*;

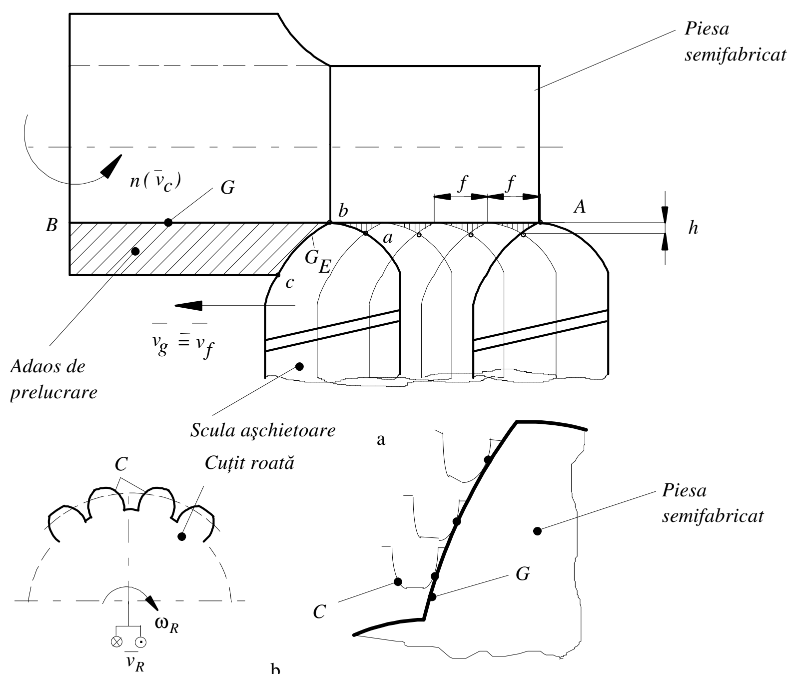


Fig. 8.15. Realizarea generatoarei cinematice:

a - ca traiectorie a deplasării unui punct; b - ca înfăşurătoare a poziţiilor succesive ale unei curbe ce se deplaseazădupă anumite legi.

- *ca înfăşurătoare a poziţiilor succesive ale unei curbe materializate prin muchia aşchietoare a sculei*, ce se deplasează în plan (fig. 8.15. b). În acest caz este necesar ca muchia aşchietoare să aibă forma curbei *C*, conjugata curbei generatoare *G*, şi să se deplaseze printr-o mişcare de translaţie cu viteza $\overline{v}_R$ şi una de rotaţie cu viteza ω_R , care să îndeplinească conditia $v_R / \omega_R = R_R$ (R_R fiind raza de rulare). Din punct de vedere al efortului de aşchiere, sculele cu profil conjugat sunt mai avantajoase decât cele cu generatoare materializată, deoarece muchia aşchietoare a acestora ia contact punctiform cu materialul piesei din aproape în aproape şi nu dintr-o dată pe toată lungimea muchiei.

8.2.2.3. Generatoarea programată

Generatoarele complicate ca formă şi mari ca lungime, nu pot fi realizate nici prin materializare pe muchia aşchietoare şi nici pe cale cinematică. În aceste cazuri se recurge la materializarea ei sub diferite forme, operaţie numită *programare*, pe un element al maşinii-unelte denumit *portprogram.*

Prin intermediul unor sesizori, care urmăresc programul, se transmit comenzi unor lanţuri cinematice ale maşinii-unelte, denumite *lanţuri cinematice de copiere,* care asigură deplasarea sculei pe traiectoria curbei generatoare stabilită prin program. Ca portprograme se utilizează: şabloane, modele, cartele perforate, benzi magnetice, benzi perforate etc. De exemplu, realizarea suprafeţei de rotaţie complexă din figura 8.16 este posibilă prin programarea generatoarei pe un şablon S, în coordonate carteziene, transformarea efectuându-se pe lanţuri cinematice de copiere hidraulice.

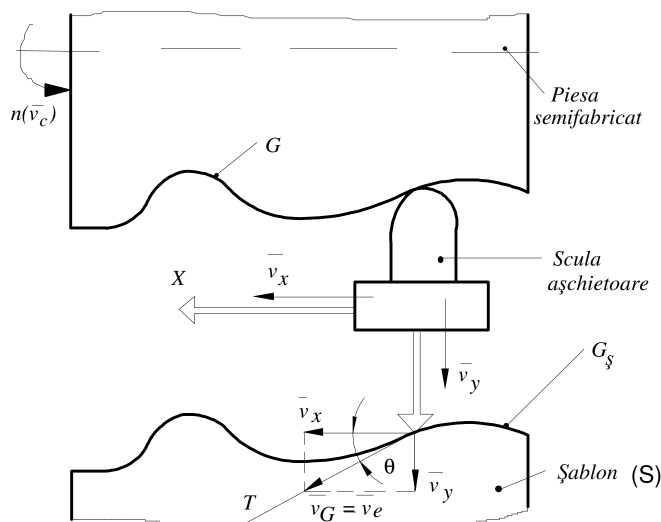


Fig. 8.16. Realizarea generatoarei programate.

În aceste coordonate, generatoarea ce urmează a fi obţinută este materializată prin curba G_s a şablonului şi rezultă din combinarea a două mişcări: una pe direcţia *X*, cu viteza $\bar{v}_x$, şi alta pe directia *Y*, cu viteza $\bar{v}_y$, între ele existând în permanenţă relaţia:

$$v_y / v_x = \text{tg}\,\theta \quad , \qquad (8.2)$$

în care θ este unghiul dintre tangenta *T* la conturul şablonului în punctul *M* şi direcţia *X*.

8.2.3. Realizarea traiectoriei directoarei

În cazul general al generării suprafeţelor prelucrate pe maşini-unelte, directoarea se obţine prin mişcarea de generare a suprafeţei ca traiectorie a acesteia. Această mişcare se face după anumite legi, ce sunt impuse de forma curbelor directoare ale suprafeţelor geometrice. Astfel, traiectoria directoare se poate realiza ca: *directoare materializată, directoare cinematică* şi *directoare programată.*

8.2.3.1. Directoarea materializată

Construcţia unei scule pentru maşini-unelte, permite pe lângă materializarea generatoarei prin, muchia aşchietoare a sa, şi materializarea directoarei. O astfel de sculă este *tarodul,* la care directoarea, elicea cilindrică este materializată prin filetul său.

Pentru materializarea suprafeţei elicoidale a filetului piuliţei, cu ajutorul

tarodului, este necesară doar o mişcare de rotaţie a acestuia sau a piuliţei. Datorită formei muchiilor aşchietoare ale părţii active a tarodului, muchii care reprezintă materializarea generatoarei, canalul elicoidal al piuliţei capătă forma corespunzătoare.

Alte scule cu directoarea materializată sunt: *filiera* (directoarea este elicea cilindrică), *broşa* (directoarea este rectilinie), *burghiul* şi *alezorul* (directoarea este circulară).

8.2.3.2. Directoarea cinematică

În procesul de generare a suprafeţelor reale pe maşini-unelte se întâlnesc trei cazuri de realizare a directoarei cinematice:

- ca traiectorie a unui punct. Traiectoria directoare circulară *D* (fig. 8.17. a) rezultă prin deplasarea punctului *M* în jurul axei de rotaţie, la distanta R_M, cu turatia *n*, având viteza tangenţială $\overline{v}_c$. Traiectoria directoare rectilinie *D* (fig. 8.17. b) rezultă din deplasarea punctului *M* în lungul directoarei teoretice rectilinii *D*, cu viteza $\overline{v}_c$. Traiectoria directoare elicoidală *D* (fig. 8.17. c) este descrisă tot de un punct *M*, în urma compunerii mişcării de rotaţie $n(\overline{v}_c)$ cu o mişcare de deplasare axială $\overline{v}_f$, normală pe planul de rotaţie. În acest caz, cele două viteze sunt condiţionate cinematic prin relaţia:

$$v_f / v_c = \text{tg}\,\beta \quad , \qquad (8.3)$$

în care β este unghiul de înclinare al directoarei *D*.

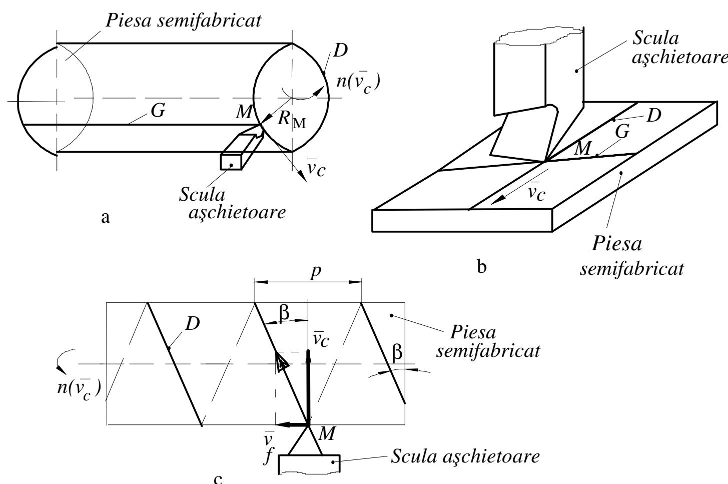


Fig. 8.17. Realizarea directoarei cinematice ca traiectorie a unui punct la:
a - strunjire;
b - rabotare, mortezare;
c - filetare.

- ca înfăşurătoare a poziţiilor succesive ale unei curbe cinematice. Se

întâlneşte la anumite procedee de prelucrare prin aşchiere datorită construcției anumitor scule (freze, pietre abrazive). Astfel, la frezarea unei suprafețe plane (fig. 8.18. a), pentru a realiza directoarea rectilinie teoretică *D* este necesară compunerea dintre mişcarea de rotație *n* a frezei şi mişcarea de translație $\bar{v}_f$, rezultând ca rezultantă curba *C*, care este o cicloidă alungită. Cum însă aceste scule au mai multe muchii aşchietoare (z_s dinti), fiecare punct *M* va deveni o cicloidă alungită, decalate între ele cu a z_s-a parte. Prin urmare, directoarea *D* apare datorită deplasării directoarei elementare D_E (*abc*) într-o mişcare paralelă cu directoarea teoretică *D* şi poziționată periodic cu o cantitate de poziționare constantă, denumită *avans director* (avans pe dinte f_d).

Realizarea directoarei ca înfăşurătoare a unei curbe cinematice apare şi la rectificare (fig. 8.18. b), unde directoarea elementară D_E este o porțiune dintr-o epicicloidă alungită, iar cantitatea de poziționare a sa în lungul directoarei este avansul circular f_c. Realizarea directoarei ca înfăşurătoare, a unei curbe cinematice, conduce la generarea suprafeței reale cu ondulații de înălțime *h*;

- *prin transpunere (imprimare) prin rulare.* Este cazul unor directoare cinematice spațiale, dificil de realizat prin metodele de mai sus. Curba directoare cinematică *D′*, de forma *a′b′c′*, realizată ca traiectorie a unui punct sau ca înfăşurătoare a unei curbe cinematice, se transpune prin rularea piesei-semifabricat, de rază R_p, pe planul Δ′ al directoarei, sub forma curbei spațiale *abc* a directoarei reale *D* (fig. 8.19). Condiția rulării fără alunecare a cilindrului pe planul Δ′ este dată de relația:

$$v / \omega = R_p \ , \qquad (8.4)$$

în care $\bar{v}$ este viteza mişcări de translație a cilindrului; ω - viteza mişcării de rotație a acestuia. Realizarea directoarei cinematice prin transpunere prin rulare fără alunecare se utilizează la generarea danturilor roților dintațe conice cu dinți curbi (dantură poloidă, spiroidă, eloidă etc.).

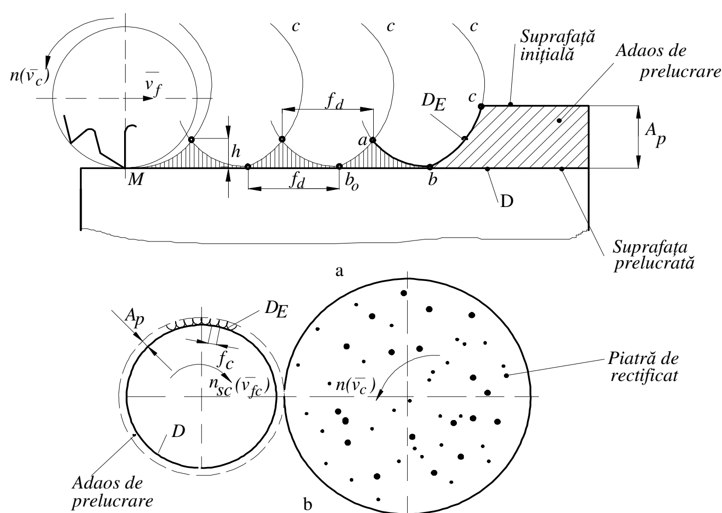


Fig. .8.18. Realizarea directoarei cinematice ca înfăşurătoare a unei curbe cinematice la: a - frezare; b - rectificare.

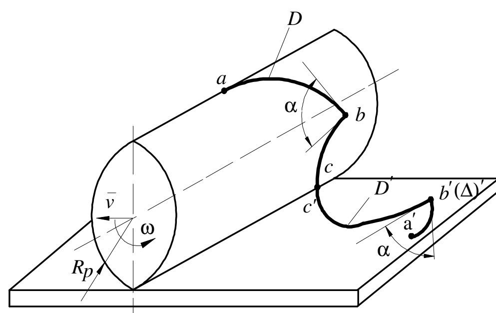


Fig. 8.19. Realizarea directoarei cinematice prin transpunere prin rulare.

8.2.3.3. Directoarea programată

Se realizează ca şi generatoarea programată utilizând şabloane, modele sau prin tipurile de programe arătate. De exemplu, programarea curbei directoare *D* pe şablon sub forma D_s, conduce la diferenţierea între formele celor două curbe, datorită razei R_s a sculei şi *r* a rolei (fig. 8.20).

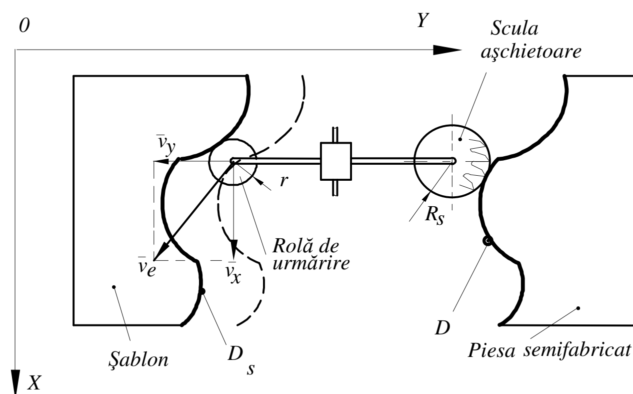


Fig. 8.20. Realizarea directoarei programate.

Pentru a se elimina dificultăţile de trasare a directoarei *D*, se alege $r = R_s$. În cazul generării suprafeţelor foarte complicate (matriţe de forjare, de turnare sub presiune, elice de avion, elice navale etc.), când generatoarea şi directoarea îşi modifică forma în timpul generării se procedează la programarea ambelor curbe.

8.2.4. Mişcările necesare la generarea suprafeţelor reale pe maşini-unelte

În cazul general al generării suprafeţelor reale, generatoarea *G* şi directoarea *D* se realizează pe cale cinematică, ca traiectorii ale unor mişcări efectuate simultan de elementul generator G_E (sau D_E la frezare şi rectificare), după legi specifice formei suprafeţei ce se vrea generată.

8.2.4.1. Mişcarea de aşchiere. Mişcarea principală. Viteza de aşchiere

În vederea generării unei suprafeţe reale, elementul generator G_E (figura 8.13. a) trebuie să se deplaseze simultan în lungul directoarei teoretice *D* cu viteza $\bar{v}_d$ şi în lungul generatoarei teoretice *G* cu viteza $\bar{v}_G$ (aceasta este mişcarea de avans de viteză $\bar{v}_f$). Cele două mişcări se compun în spaţiu, rezultând o mişcare relativă între elementul generator, ce aparţine sculei, şi suprafaţa reală ce se generează pe piesa prelucrată. Această mişcare relativă în urma căreia se îndepărtează adaosul de prelucrare sub formă de aşchii se numeşte *mişcare de aşchiere*, având ca traiectorie o rezultantă a traiectoriilor generate de cele două mişcări, numită *traiectoria mişcării de aşchiere* $\text{Tr}_{\text{aş}}$.

Viteza cu care se efectuează mişcarea de aşchiere $\bar{v}_e$ se numeşte viteza de aşchiere şi se calculează cu relaţia:

$$\bar{v}_e = \bar{v}_d + \bar{v}_G \quad . \tag{8.5}$$

Deoarece în cazurile practice de generare pe maşinile-unelte, viteza $\bar{v}_G$

este foarte mică față de $\overline{v}_e$, rezultă că $\overline{v}_d$ este componenta cea mai apropiată ca mărime şi sens de $\overline{v}_e$ şi ea se numeşte *viteza principală de aşchiere,* notată cu $\overline{v}_c$.

Întrucât mişcarea cu viteza $\overline{v}_G$ este mişcarea de avans, în generarea dată se pot scrie identitățile:

$$\overline{v}_G \equiv \overline{v}_f\,;\overline{v}_d \equiv \overline{v}_c\,, \tag{8.6}$$

iar expresia vectorială a vitezei reale de aşchiere devine:

$$\overline{v}_e = \overline{v}_c + \overline{v}_f\ . \tag{8.7}$$

Mărimea acestei viteze se calculează uşor dacă se cunoaşte unghiul ω (fig. 8.13. b) dintre cele două viteze componente:

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2 + 2 \cdot v_c \cdot v_f \cdot \cos\omega}\,. \tag{8.8}$$

Mişcarea elementului generator în lungul traiectoriei directoare, iar în cazuri particulare (frezare, rectificare, strunjirea filetelor etc.) în lungul uneia din componentele traiectoriei directoare, se numeşte *mişcare principală de aşchiere*. Viteza cu care se efectuează mişcarea principală de aşchiere este *viteza principală de aşchiere*, notată cu $\overline{v}_c$.

Lanțul cinematic al unei maşini-unelte care asigură viteza principală de aşchiere pe traiectoria directoare sau pe una din componentele traiectoriei directoare se numeşte *lanț cinematic principal.*

Mişcarea principală de aşchiere este o *mişcare simplă de rotație*, în cazul generării suprafețelor prin procedee ca: strunjirea, găurirea, alezarea, frezarea, broşarea circulară, şi rectilinie sau o mişcare *simplă de translație rectilinie*, la generarea prin procedee ca: rabotarea, mortezarea şi broşarea rectilinie.

Mărimea vitezei principale de aşchiere, se calculează în funcție de felul mişcării principale, cu relațiile:

$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}\quad [\text{m/min}]\,, \tag{8.9}$$

pentru mişcarea principală de rotație, şi :

$$v_c = \frac{1+k}{k}\cdot\frac{l \cdot n_{cd}}{1000}\quad [\text{m/min}]\,, \tag{8.10}$$

pentru mişcarea principală de translatie, în care: n este frecvența de repetare a traiectoriei mişcării principale, în rot/min (fig. 8.21. a şi b) sau curse duble/min (fig. 8.21.c); d - diametrul piesei sau sculei, în mm.; $k = v_i/v_a$ (v_i - viteza în cursa de înapoiere şi v_a - viteza în cursa activă); l - lungimea traiectoriei, în [mm].

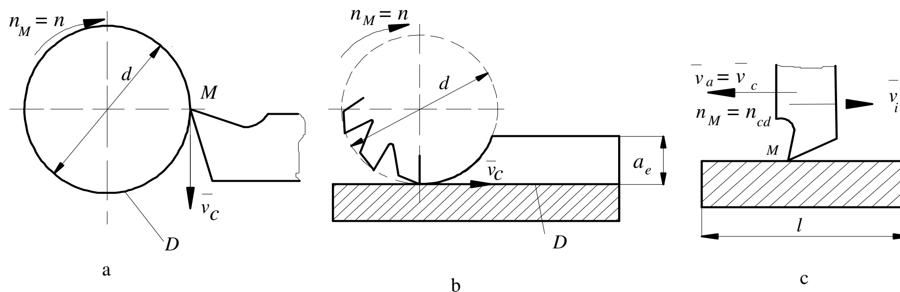


Fig. 8.21. Elementele mişcării principale de aşchiere la:
a – strunjire; b – frezare; c – rabotare, mortezare.

Generarea suprafeţelor reale pe maşini-unelte este condiţionată nu numai de legile cinematice după care se realizează traiectoriile *G* şi *D*, ci şi de criterii privind geometria optimă a sculei, precum şi de criterii tehnologico - economice.

Potrivit acestor criterii, viteza elementului generator în mişcarea de rotaţie trebuie să aibă o astfel de mărime, încât să permită realizarea unei productivităti maxime şi un cost minim al generării. Această viteză se numeşte *viteză tehnologică de aşchiere* sau *viteză economică de aşchiere*, mărimea ei fiind diferită la fiecare procedeu de generare. Astfel, în cazul strunjirii, expresia vitezei tehnologice de aşchiere v_{ec} este:

$$v_{ec} = \frac{C_v}{T_{ec}^m \cdot a_P^{xv} \cdot f^{yv}} \cdot k_\sigma \cdot k_\gamma \cdot k_\alpha \cdot k_\kappa \cdot k_n \cdots \quad , \qquad (8.11)$$

în care T_{ec} este durabilitatea economică, în minute; a_P - adâncimea de aşchiere, în mm; f - avansul, în mm/rot; C_v, m, x_v, y_v - constante experimentale; k_σ, k_α, k_χ, etc. - coeficienţi de corecţie, care ţin seama de natura materialului aşchiat, geometria sculei, condiţiile de desfăşurare a procesului de aşchiere etc.

8.2.4.2. Mişcarea de avans. Viteza de avans

Mişcarea de poziţionare repetată, ciclică, a generatoarei elementare G_E în lungul generatoarei teoretice *G* sau a directoarei elementare D_E în lungul directoarei teoretice *D* se numeşte *mişcare de avans*. Având în vedere continuitatea efectuării sale, mişcarea de avans poate fi:

- *continuă* - la strunjire (fig. 8.22. a, b şi g) , frezare (fig. 8.22. e);
- *continuă alternativă* - la rectificare (fig. 8.22. c);
- *intermitentă* - la mortezare şi rabotare (fig. 8.22. f).

În funcţie de direcţia sa , mişcarea de avans poate fi :

- *longitudinală* sau *axială* (fig. 8.22, a. c şi e);
- *transversală* sau *radială* (fig. 8.22. b şi f);

- *tangențială* (fig. 8.22. g);
- *circulară* (fig. 8.22. d).

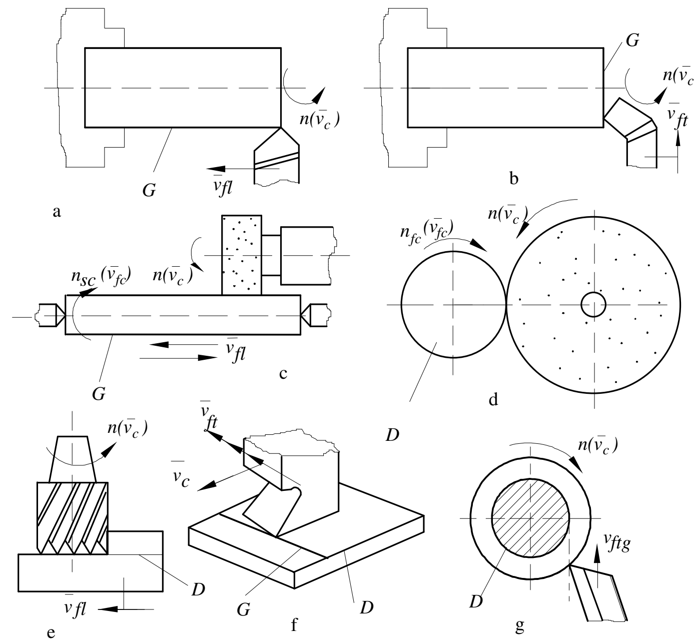


Fig. 8.22. Diferite tipuri de mişcări de avans:
a – la strunjirea cilindrică exterioară; b – la strunjirea frontală; c, d – la rectificare; e – la frezarea cilindro - frontală; f - la rabotare; g - la strunjirea profilată; $\bar{v}_c$ - viteza mişcării principale de aşchiere; $\bar{v}_{fl}$; $\bar{v}_{ft}$; $\bar{v}_{fc}$; $\bar{v}_{ftg}$ - viteza mişcării de avans longitudinal şi respectiv transversal, circular sau tangențial.

Lanțul cinematic care asigură poziționarea ciclică, pe una din traiectoriile de generare (*G* sau *D*) a elementului generator (G_E sau D_E), se numeşte *lanț cinematic de avans.* Viteza cu care se efectuează mişcarea de avans se numeşte *viteză de avans,* notată cu $\bar{v}_f$. Mărimea acestei viteze se determină cu raportul:

$$v_f = f / T_f \quad [\text{mm/min}] , \qquad (8.12)$$

în care: *f* este distanța ciclică de poziționare; T_f - timpul în care are loc poziționarea pe distanța avansului.

8.3. BAZELE AŞCHIERII MATERIALELOR

8.3.1. Geometria sculelor aschietoare

Scula aşchietoare în mişcarea sa relativă faţă de piesa semifabricat, generează suprafaţa prelucrată, îndepărtind adaosul de prelucrare sub formă de aşchii. De aceea, se acordă o mare importanţă proiectării, calculului şi execuţiei oricărui tip de sculă aşchietoare.

În general o sculă aşchietoare se compune din trei părţi distincte (fig.8.23): partea activă, de aşchiere, 1; corpul sculei, 2; partea de fixare sau de prindere, 3.

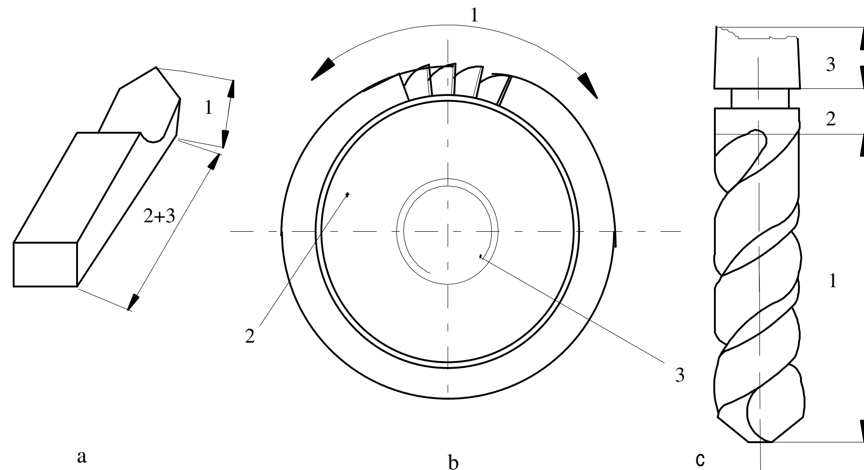


Fig. 8.23. Părţile componente ale sculelor:
a – cuţit ; b – freză ; c – burghiu ; 1 - partea activă; 2 - corpul; 3 - partea de fixare.

Partea activă a sculei aşchietoare are o astfel de geometrie constructivă, încât să permită îndeplinirea următoarelor funcţii :

- deformarea şi detaşarea aşchiei din adaosul de prelucrare în scopul generării suprafeţelor prelucrate, funcţii realizate de unul sau mai multe tăişuri adiacente;
- degajarea, răsucirea, fărâmiţarea sau fragmentarea aşchiei, precum şi dirijarea acesteia într-o direcţie dorită, funcţii realizate cu ajutorul unor praguri sau canale;
- cuprinderea şi evacuarea aşchiilor prin canalele dintre dinţii sculelor (cazul sculelor cu tăişuri multiple);
- autoconducerea şi ghidarea sculei în timpul generării suprafeţelor prelucrate, prin elemente de ghidare sub formă de faţete;

- refacerea calităților așchietoare prin reascuțirea sau schimbarea tăișurilor uzate.

Oricât de diferită este scula așchietoare, partea activă poate fi considerată ca având elementele geometrice ale cuțitelor de strung, de aceea, definițiile care vor fi date cu privire la cuțitul de strung sunt valabile în general la partea activă a oricărei scule. Geometria părții active a sculei este definită, în general, prin standardele de stat, de aceea, spre exemplificare se fac referiri la cuțitul de strung.

Partea activă a cuțitului de strung conform ISO 3002/1 este formată din următoarele elemente (fig. 8.24):

- *fața de degajare* $A_{\gamma 2}$, care exercită forța de așchiere asupra stratului de așchiere și pe ea alunecă așchia detașată;

- *fața de așezare principală* $A_{\alpha 2}$ (în contact cu suprafața de așchiere de-a lungul muchiei așchietoare principale) și *fața de așezare secundară* $A'_{\alpha 2}$ (în contact cu suprafața prelucrată de-a lungul muchiei așchietoare secundare);

- *muchia principală de așchiere s* este linia de intersecție a feței de degajare cu fața de așezare principală;

- *muchia secundară de așchiere s′* este linia de intersecție a feței de degajare cu fața de așezare secundară;

- *tăișul sculei așchietoare* S_0 este unghiul diedru solid format în jurul unei muchii, de către de suprafața de degajare și respectiv suprafețele de așezare;

- *vârful tăișului V* este unghiul triedru format de fața de degajare cu cele două fețe de așezare;

- *fațeta de degajare* $A_{\gamma 1}$, *fațeta de așezare principală* $A_{\alpha 1}$ și *fațeta de așezare secundară* $A'_{\alpha 1}$, sunt teșiturile executate în apropierea muchiilor corespunzatoare, având alte unghiuri decât fețele respective;

- *raza de rotunjire* r_a sau *raza vârfului* este raza cercului de racordare a două muchii așchietoare vecine;

- *raza de ascutire* r_ε sau *raza de bontire* este raza cercului de racordare dintre urmele fețelor de degajare și de așezare, într-un plan de secționare perpendicular pe muchie (fig. 8.24. b);

- *tăișul principal S* și respectiv *secundar S′* sunt tăișurile corespunzătoare muchiilor respective.

Pentru definirea parametrilor geometrici ai unei scule, care să corespundă unor necesități funcționale, trebuie stabilit mai întâi un sistem de referință. Se folosesc două sisteme de referință:

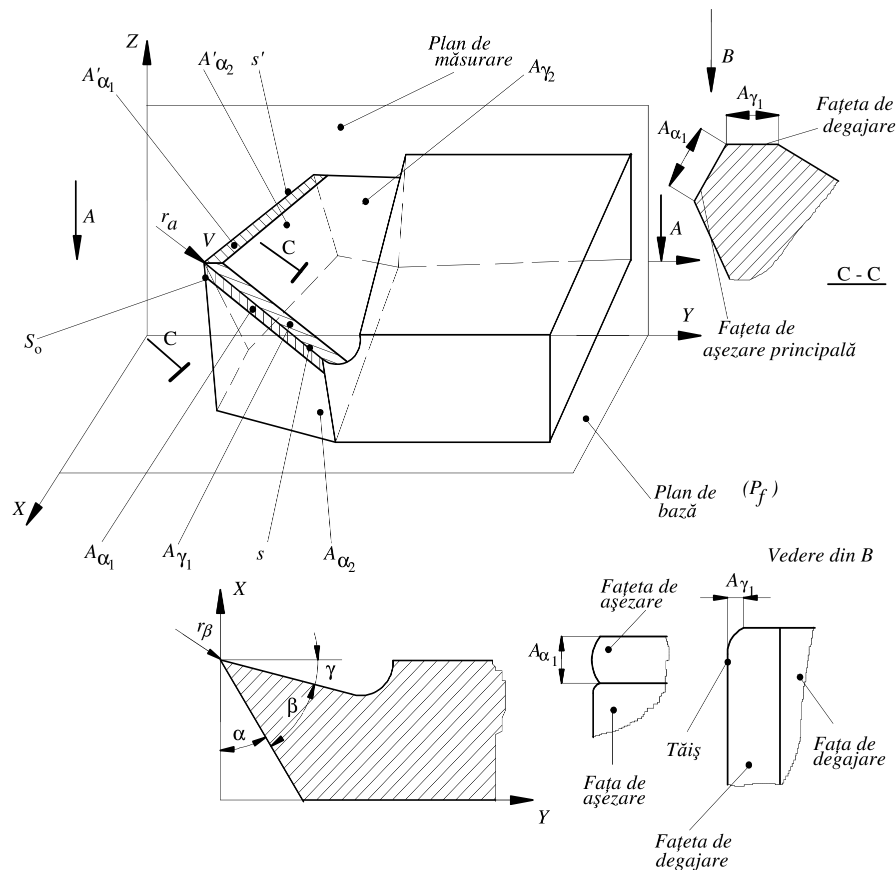


Fig. 8.24. Părțile componente ale zonei active a cuțitului:
$A_{\gamma 2}$- fața de degajare; $A_{\gamma 1}$ - fațeta de degajare; $A_{\alpha 2}$ - fața de asezare principală; $A_{\alpha 1}$ - fațeta de așezare principală; $A'_{\alpha 2}$ - fața de așezare secundară; *s; s′* - muchia principală și respectiv secundară de așchiere; *S;S′* - tăișul principal și respectiv secundar; *V* - vârful tăișului; r_{ε} - raza vârfului; r_{β} - raza de bontire.

• *Sistemul de referință constructiv,* care definește așezarea sculei în vederea prelucrării și reascuțirii, valorile parametrilor unghiulari, determinând forma părții active a sculei, realizată prin ascuțire. Sistemul de referință constructiv (fig. 8.25) este format din:

- planul de bază constructiv P_f - planul care trece prin punctul de așchiere considerat pe muchia așchietoare, perpendicular pe direcția mișcării principale și paralel cu o suprafață de bazare ce cuprinde cele două mișcări de avans, la sculele fără axă de rotație, iar la sculele cu axă de rotație, este planul care trece prin punctul considerat pe muchia așchietoare și axa de rotație a sculei;

- planul muchiei aschietoare constructiv P_s - planul care trece prin muchia aşchietoare tangent la suprafaţa de aşchiere şi perpendicular pe planul de bază constructiv;

- planul de măsurare constructiv P_p - planul perpendicular pe cele două plane de mai sus.

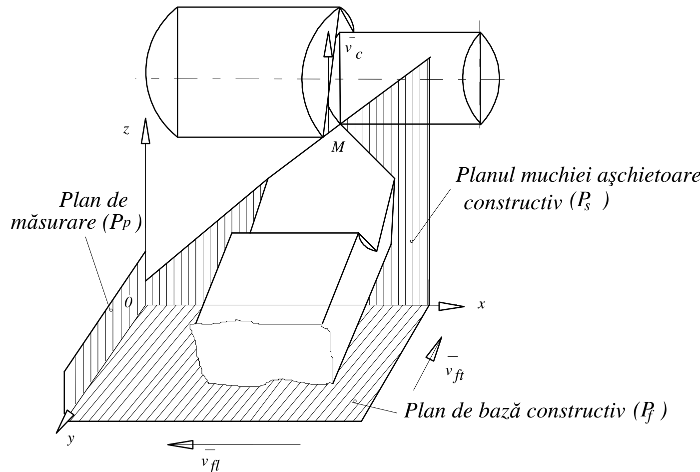


Fig. 8. 25. Sistemul de referinţă constructiv.

• *Sistemul de referinţă funcţional* (efectiv), care defineşte valorile parametrilor geometrici, ai părţii aşchietoare a sculei, consideraţi în timpul desfăşurarii procesului de aşchiere.

8.3.1.1. Unghiurile părţii active în sistemul de referinţă constructiv

Aceste unghiuri determină forma părţii active a cuţitului, realizată prin ascuţire. În acest caz, cuţitul este privit static, ca un corp geometric. Ca unghiuri de formă se deosebesc (fig.8.26):

- *unghiul de aşezare constructiv* (principal α şi secundar α') este unghiul format de planul muchiei aşchietoare şi feţele de aşezare corespunzătoare ;

- unghiul de degajare constructiv (principal γ şi secundar γ') este unghiul format de planul feţei de degajare şi planul de bază constructiv;

- unghiul de ascuţire constructiv (principal β şi secundar β') este unghiul format de planul tangent la faţa de degajare şi planul tangent la faţa de aşezare respectivă, într-un punct dat;

- unghiul de înclinare al tăişului λ_s este unghiul format de muchia aşchietoare şi planul de bază (fig. 8.26. b) măsurat în planul muchiei aşchietoare;

- unghiul de vârf sau unghiul de profil ε_r este unghiul format de tangentele la muchiile principale şi respectiv secundare de aşchiere;

- unghiul de înclinare al tăişului λ_s este unghiul format de muchia aşchietoare şi planul de bază (fig. 8.26. b) măsurat în planul muchiei aşchietoare;

- unghiul de vârf sau unghiul de profil ε_r este unghiul format de tangentele la muchiile principale şi respectiv secundare de aşchiere;

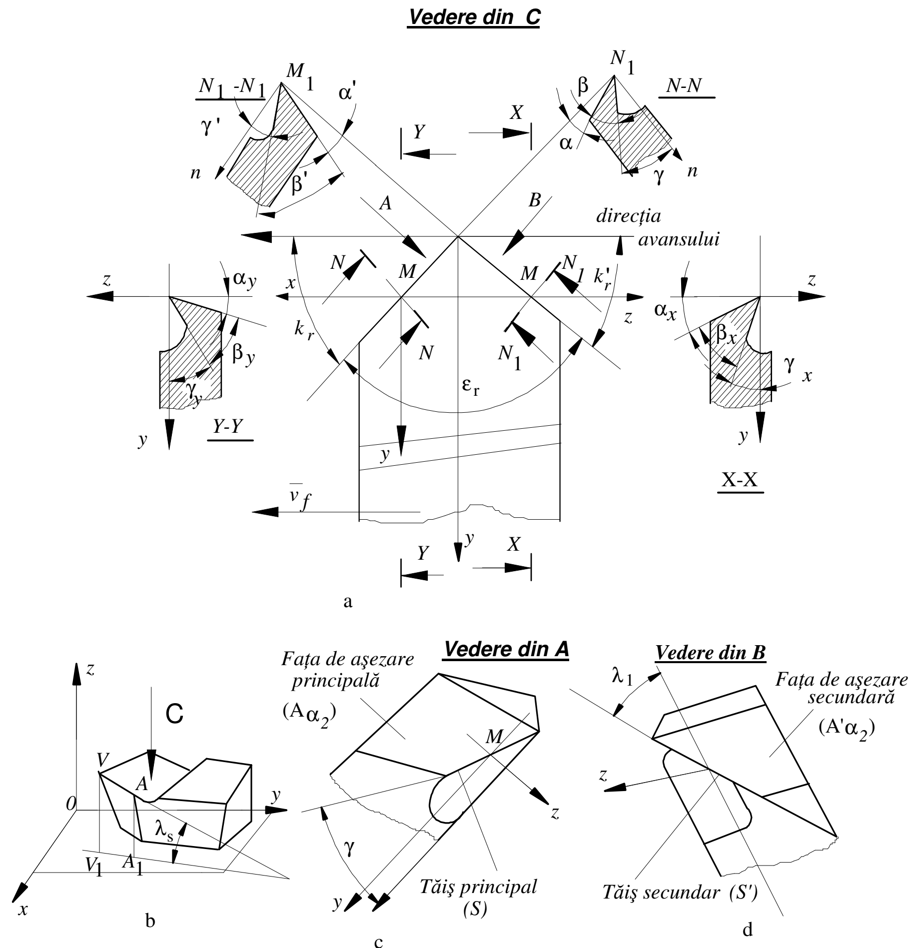


Fig. 8.26. Geometria cuțitului de strung:
A - vedere din C; b-vedere de ansamblu a unui cutit de strung; c, d - vedere laterală; α, α' - unghiul de aşezare principal, respectiv secundar; γ; γ' - unghiul de degajare principal, respectiv secundar; β; β' - unghiul de ascuțire principal, respectiv secundar; k_r, k'_r - unghiul de atac principal, respectiv secundar; λ_s - unghiul de înclinare al tăişului; ™$_r$ - unghiul de la vârf al cuțitului.

- *unghiul de atac constructiv* (principal k_r şi secundar k'_r) este unghiul

format de direcția proiecției tăișului principal (şi respectiv secundar), pe planul de bază, cu direcția avansului (fig. 8.26. a). Relațiile matematice între unghiurile care se măsoară în planul de bază constructiv şi respectiv în planul de măsurare constructiv sunt:

$$k_r + \varepsilon_r + k'_r = 180^0 \ , \qquad (8.13)$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^0 \ . \qquad (8.14)$$

8.3.1.2. Unghiurile în sistemul de referință funcțional

În timpul procesului de așchiere, scula fiind în mişcare relativă față de piesă, datorită condițiilor tehnologice în care are loc așchierea, sistemul de referință constructiv al sculei O*xyz* își modifică poziția față de sistemul de referință cinematic *OXYZ* al mașinii-unelte (fig.8.27). Datorită acestui fapt, unghiurile constructive atribuite sculei prin așchiere suferă modificări.

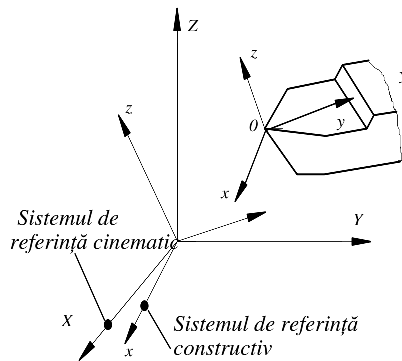


Fig. 8.27. Poziția celor două sisteme de referință în timpul procesului de așchiere.

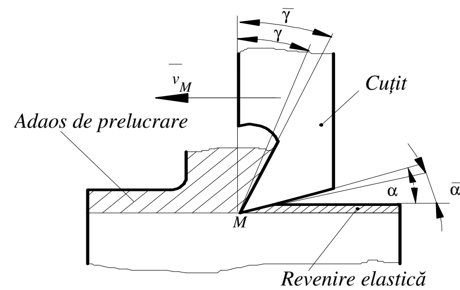


Fig. 8.28. Modificarea unghiului de așezare constructiv α datorită revenirilor elastice şi a unghiului de degajare constructiv datorită presiunii așchiei :
$\overline{\alpha}$ - unghiul de așezare real (în lucru);
$\overline{\gamma}$ - unghiul de degajare real.

Deoarece procesul de așchiere este în prima fază un proces de deformare plastică, imediat după ce tăișul sculei efectuează așchierea, materialul își revine într-o oarecare măsură (dispar deformațiile elastice), ridicându-se pe fața de așezare (fig. 8.28) și modificând unghiul de așezare. În mod obișnuit unghiul de așezare α = = 6...12^0, mărimea sa depinzând de materialul de prelucrat, materialul și tipul sculei, operația executată etc.

În mod analog, unghiul de degajare funcțional, fiind în legatură directă cu deformarea materialului şi frecarea dintre așchie şi sculă, va fi luat în direcția

in care a avut loc formarea elementelor de aşchiere şi se va măsura între perpendiculara dusă la tangenta traiectoriei tăişului sculei şi tangenta la faţa de degajare (fig. 8.28).

Aşchiile vor suferi deformaţii plastice cu atât mai mici cu cât unghiul de degajare este mai mare, însă cu cât unghiul de degajare creşte, se micşorează unghiul de ascuţire β (fig.8.29. a), şi deci se micşorează rezistenţa mecanică şi termică a sculei. În mod obişnuit, valorile unghiului de degajare γ sunt valori cuprinse între limitele 0°...30°, iar în mod excepţional se pot adopta şi valori negative, cuprinse între -5^o şi -10^o (fig. 8.29. b).

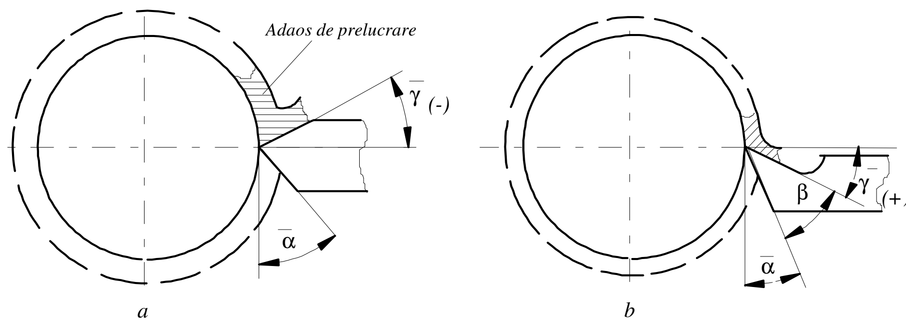


Fig. 8.29. Unghiul de degajare fun cţional $\bar{\gamma}$ în procesul de strunjire:
a – cazul deformaţiilor mici; b – cazul deformaţiilor mari;

O altă cauză ce conduce inevitabil la alte unghiuri funcţionale decât cele constructive este poziţia tăişului cuţitului în raport cu centrul piesei (fig. 8.30. a şi b). În cazul în care cuţitul este aşezat deasupra axei piesei, la distanţa *h* (fig. 8.30.a), unghiurile reale sunt:

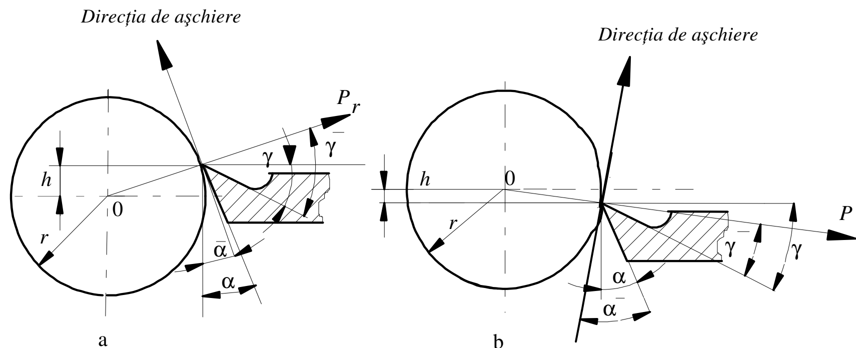


Fig. 8.30. Influenţa poziţiei cuţitului asupra parametrilor geometrici când:
a - vârful cuţitului se găseşte deasupra axei piesei cu distanţa *h*; b- vârful cuţitului se găseşte sub axa piesei cu distanţa *h*.

$$\bar{\gamma} = \gamma + \arcsin\frac{h}{r};\quad \bar{\alpha} = \alpha - \arcsin\frac{h}{r}, \tag{8.15}$$

iar când este aşezat cu vârful sub planul orizontal, cu înălțimea h, vor fi:

$$\bar{\gamma} = \gamma - \arcsin\frac{h}{r};\quad \bar{\alpha} = \alpha + \arcsin\frac{h}{r}. \tag{8.16}$$

Avansul longitudinal şi avansul transversal, modificând poziția traiectoriei cuțitului în mişcarea de aşchiere, va modifica corespunzător şi parametrii geometrici ai sculei.

În concluzie, la proiectarea oricărei scule aşchietoare este necesar să se prevadă mărimile parametrilor geometrici, de aşa valoare, încât prin modificarea acestora în procesul de aşchiere să rezulte valorile optime.

8.3.2. Parametrii geometrici ai stratului de aşchiere

În timpul unui ciclu al mişcării principale de aşchiere, de rotație, de translație, complexă, scula detaşează de pe suprafața de prelucrat un strat de material numit *aşchie*, forma şi mărimea ei fiind un parametru tehnologic important al procesului de aşchiere. Elementele secțiunii aşchiei se determină într-un plan perpendicular pe direcția vitezei de aşchiere.

În figura 8.31 se prezintă parametrii geometrici ai aşchiei în cazul strunjirii longitudinale (fig.8.31.a), al rabotării (fig.8.31.b) şi al mortezării (fig.8.3.c) deosebindu-se:

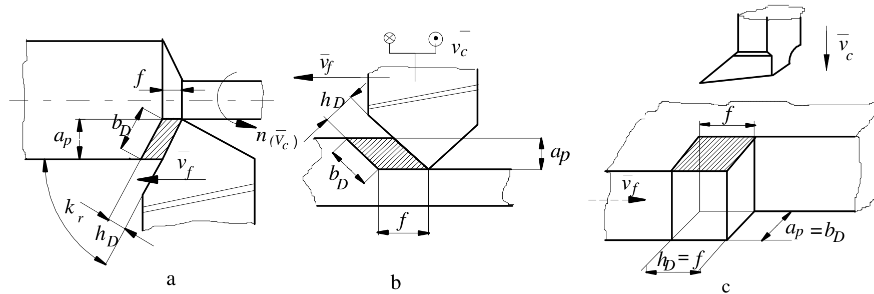


Fig. 8.31. Parametrii secțiunii transversale a aşchiei la:
a - strunjire; b - rabotare; c – mortezare ; a_p - adâncimea de aşchiere; b_D - lățimea aşchiei; h_D - grosimea aşchiei; f - avansul de aşchiere; $\bar{v}_c$ - viteza mişcării principale de aşchiere; $\bar{v}_f$ - viteza mişcării de avans.

- *grosimea nominală a aşchiei* h_D, distanța dintre două poziții succesive ale suprafeței de aşchiere, măsurată perpendicular pe suprafețe de aşchiere, la o rotație;

- *lățimea nominală a aşchiei* b_D, dimensiunea aşchiei în contact cu tăişul

principal, măsurată pe acesta;

- *lungimea nominală a aşchiei l*, lungimea drumului parcurs de tăişul principal, măsurată pe acesta.

Parametrii tehnologici ai aşchiei sunt:

- *adâncimea de aşchiere* a_p, distanţa dintre suprafaţa prelucrată şi suprafaţa de prelucrat. Adâncimea de aşchiere este egală cu avansul de pătrundere sau de potrivire al sculei;

- *avansul f*, distanţa dintre două poziţii succesive ale unui punct de pe tăişul sculei sau dintre două poziţii succesive ale suprafeţei de aşchiere, după efectuarea unui ciclu în mişcarea principală (o rotaţie completă la strunjire, o rotaţie de un pas al dinţiilor la frezare, o cursă la rabotare şi mortezare etc.).

Secţiunea aşchiei este diferită în funcţie de particularităţile conturului tăişului sculei, deosebindu-se mai multe tipuri de aşchii (fig.8.32). Între parametrii geometrici ai stratului aşchiat există următoarele relaţii:

$$h_D = f \cdot \sin k_r \; ; \quad b_D = f / \sin k_r \; . \qquad (8.17)$$

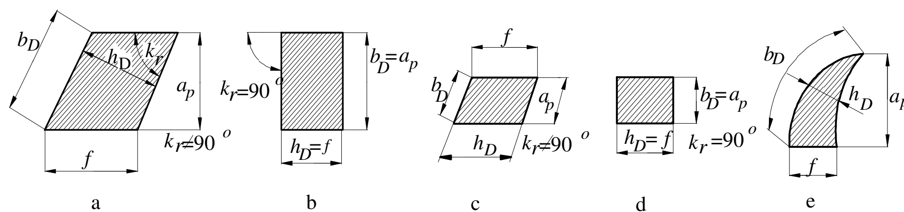


Fig. 8.32. Forma teoretică a secţiunii transversale:
a, b - aşchii înalte sau directe; c; d - aşchii joase sau inverse; e - aşchie de grosime variabilă.

Relaţiile (8.17) arată că pentru aceeaşi adâncime de aşchiere a_p şi acelaşi avans *f*, lăţimea b_D se micşorează, iar grosimea h_D creste odată cu creşterea unghiului de atac k_r (fig. 8.33).

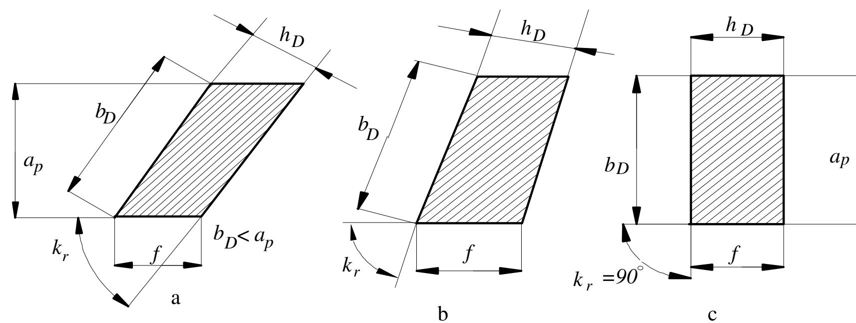


Fig. 8.33. Variaţia parametrilor geometrici în funcţie de unghiul de atac:
a - $k_r < 45^o$; b - $k_r \in (45^o - 90^o)$; c - $k_r = 90^o$.

Forma reală a secţiunii transversale a aşchiei diferă de cea teoretică. Acest lucru se datoreşte faptului că tăişul secundar nu detaşează aşchia exact după linia suprafeţei prelucrate, ci sub un unghi oarecare şi datorită deformaţiilor pe care le suferă aşchia în procesul de aşchiere. În timpul procesului de aşchiere, adaosul de prelucrare se transformă în aşchie, suferind de regulă o deformaţie permanentă(fig. 8.34) denumită *tasare.*

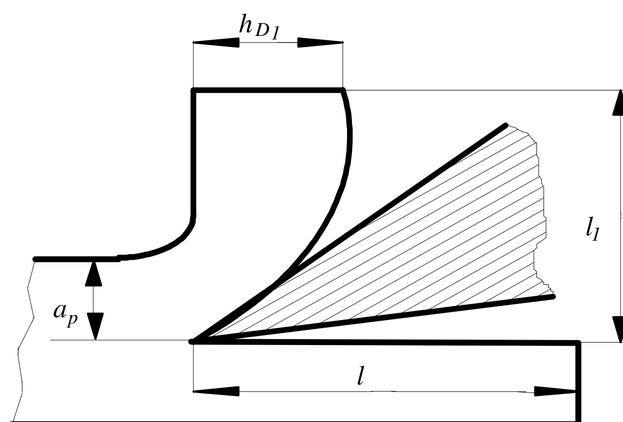


Fig. 8.34. Tasarea aşchiei.

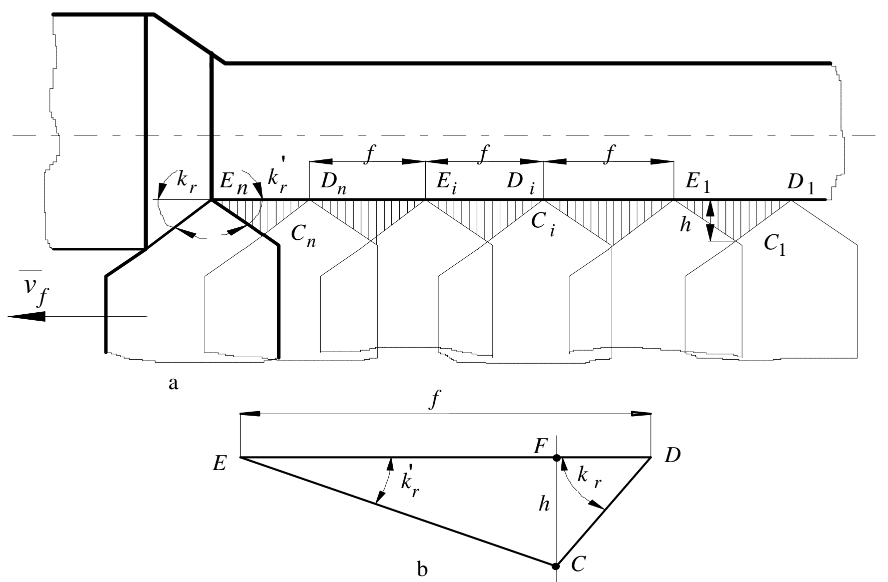


Fig. 8.35. Secţiunea aşchiei rămase pe suprafaţa prelucrată:
a - la strunjirea pe o porţiune de lungime mare; b - detaliu privind poziţia la un moment dat a cuţitului.

Dacă se măsoară dimensiunile stratului de aşchiere (l, h_D, b_D) şi dimensiunile aşchiei detaşate (l_1, h_{D1}, b_{D1}) se constată că după aşchiere lungimea s-a micşorat, iar grosimea şi lăţimea s-au mărit, adică aşchia s-a contractat (tasat) în proporţiile:

$$l/l_1 = k_l = 1{,}5...4{,}0; \ b_D/b_{D1} = k_{bD} = 1{,}0 ...1{,}2; \ h_{D1}/h_D = kh_D = 1{,}5…4{,}0 \ . \quad (8.18)$$

Aceşti coeficienţi variază în limite destul de largi, în funcţie de materialul aşchiat şi de condiţiile fizice ale procesului de aşchiere.

În urma trecerii cuţitului, pe suprafaţa prelucrată a piesei rămâne o suprafaţă zimţată (secţiunea rămasă a aşchiei), a cărei valoare este egală cu de *n* ori suprafaţa triunghiului *DCE* (fig. 8.35. a). Din aria secţiunii rămase (ΔDCE) se poate deduce înălţimea *h* cu expresia:

$$h = \frac{f}{\text{ctg}k_r + \text{ctg}k_r^{'}} \ , \quad (8.19)$$

relaţie extrem de importantă, deoarece ea dă gradul de netezime (rugozitatea) suprafeţei prelucrate (fig. 8.35. b). Tot această relaţie clarifică rolul esenţial al tăişului secundar ca tăiş netezitor (când $k'_r \rightarrow 0 \Rightarrow h \rightarrow 0$). De aceea, unghiul de atac secundar k'_r , la sculele de finisare (cuţite late, alezoare), precum şi la frezele frontale se ia cât mai mic posibil ($k'_r = 2…5^o$ şi chiar mai mic).

8.3.3. Procesul fizic de aşchiere

Procesul fizic prin care stratul de aşchiere se transformă şi se desprinde sub formă de aşchie este un fenomen fizic deosebit de complex. Astfel, sub acţiunea forţelor exterioare imprimate sculei şi aplicate stratului de material din faţa ei, în aceasta apar deformaţii care iniţial sunt elastice, apoi plastice, ulterior are loc distrugerea coeziunii intermoleculare, urmată de separarea aşchiei de restul materialului. În acelaşi timp, elementul de aşchie în mişcarea sa în raport cu elementul următor, are de învins frecările interioare, iar în raport cu scula aşchietoare este supus acţiunii forţelor de frecare dintre el şi sculă. Căldura degajată în acest timp afectează atât elementul de aşchie în cauză, cât şi straturile învecinate şi suprafeţele active ale sculei, modificând condiţiile iniţiale de desfăşurare a procesului. De exemplu, modificarea caracteristicilor mecanice (a deformabilităţii materialului în special), modificarea condiţiilor de frecare (ca urmare a depunerilor) aşchie-sculă şi sculă-suprafaţă prelucrată, precum şi modificarea permanentă a geometriei sculei (datorită uzurii şi existenţei depunerilor) sunt principalii factori care complică studiul procesului de aşchiere.

8.3.3.1. Procesul de aşchiere ca proces de deformare plastică

În cazul cel mai simplu, procesul de aşchiere poate fi reprezenat ca în

figura 8.36, unde sculei i se imprimă de către maşina-unealtă o forță *F*. Dacă stratul de aşchiere, de grosime a_p, se consideră separat de restul materialului printr-o tăietură *OO´*, atunci acțiunea sculei poate fi asimilată cu acțiunea unui poanson care ar acționa cu aceeaşi forță asupra unei epruvete prismatice (fig.8.36.b), solicitând-o la compresiune. În fiecare element de volum din masa epruvetei, sub acțiunea forței *F* iau naştere tensiuni normale principale şi tensiuni tangențiale maxime, având direcții înclinate la 45° față de direcția tensiunilor normale (fig. 8.36. b). În prima etapă epruveta se deformează elastic, iar după ce se depaşeşte limita elastică încep deformațiile plastice (alunecarea relativă a elementelor de suprafață de-a lungul liniilor de alunecare).Când materialul epruvetei şi-a epuizat capacitatea de deformare, se produce ruperea în zonele unde tensiunile principale au devenit maxime (la 45° față de direcția de acționare a forței).

În cazul aşchierii, deoarece stratul supus prelucrării are latura inferioară legată de materialul de bază, prin forțele de coeziune cristalină (lipseşte tăietura *OO′*), şi datorită forțelor de frecare pe fața de degajare a cuțitului, liniile de alunecare nu mai au înclinări constante de 45° față de direcția forței, ci vor fi curbate şi deviate înspre partea liberă a stratului comprimat. Astfel forfecarea aşchiei va avea loc după direcția *MN*, denumită *linie de forfecare*, sub un unghi ω = = 25...30°, denumit *unghi de forfecare* (fig. 8.36. c). Procesul descris mai sus nu se reproduce identic în toate cazurile, ci diferă în funcție de natura materialului de prelucrat, geometria sculei aşchietoare, viteza de aschiere, condițiile de răcire etc.

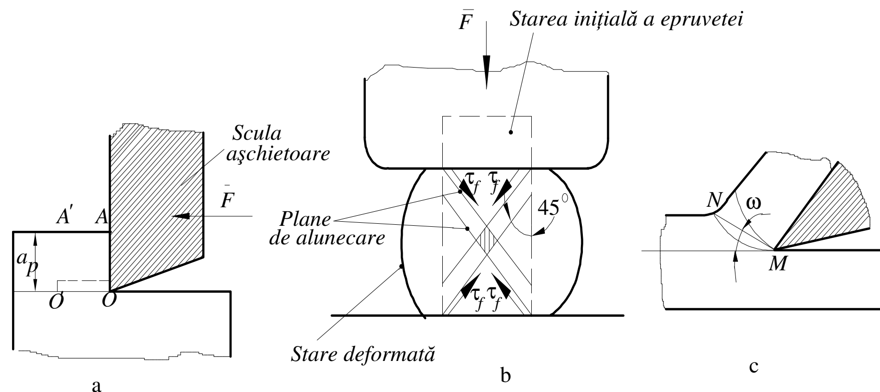


Fig. 8.36. Procesul de aşchiere ca un proces de deformare plastică:
a- stare a inițială ipotetică; b - deformarea plastică prin refulare; c - desprinderea aşchiei prin forfecare.

Natura formării aşchiei conține informații importante asupra modului în care decurge procesul de aşchiere, fiind cunoscute în general patru tipuri de bază ale formării aşchiei. Considerând dependența dintre tensiunea tangențială τ_f din planul de forfecare şi mărimea deformației ε (fig.8.37. a), în funcție de deformația

ε_o corespunzătoare unui anumit unghi γ, se pot explica cele patru tipuri de bază ale formării aşchiei:

- *formarea aşchiei continue sau de curgere* (fig. 8.37. c) are loc când $\varepsilon_o <$ $< \varepsilon''$, adică deformarea are loc în domeniul de ecruisare, capacitatea de deformare nefiind complet consumată. În felul acesta apare aşchia de curgere, care, pentru a fi ruptă, are nevoie de o deformare suplimentară mare. Apare la materialele ductile;

- *formarea aşchiei lamelare sau semicontinue* (fig.8.37. d) are loc când $\varepsilon''<$ $< \varepsilon_o< \varepsilon_R$. Forţa de aşchiere se reduce imediat când gradul de deformare atinge valoarea ε''; are loc o întărire a planului de forfecare până când presiunea creată de faţa de degajare produce o deplasare a planului de forfecare. Apar aşchii lamelare care se nasc o dată cu creşterea deformării şi scăderea rezistenţei materialului, în planul de forfecare;

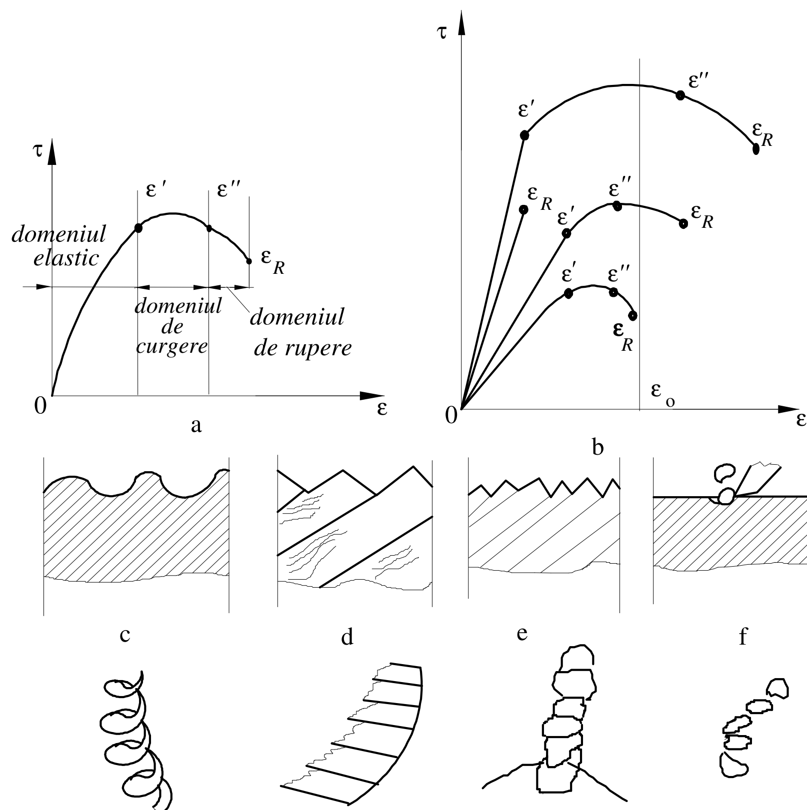


Fig. 8.37. Procesul de formare al aşchiilor şi tipuri de aşchii:
a - curba tensiune tangenţială de forfecare τ_f - deformaţie ε; b - domeniile prin care poate trece un material sub acţiunea unei forţe de aşchiere; c - aşchii continue; d - aşchii lamelare; e - aşchii discontinue; f - aşchii de rupere.

- *formarea aşchiilor discontinue* (fig. 8.37. e) are loc când $\varepsilon_o > \varepsilon_R$. În acest caz, deformarea în planul de forfecare depăşeşte capacitatea de deformare a materialului, aşchia se foarfecă complet, rămânând legată pe o anumită porțiune. Apare la materialele fragile şi acolo unde deformarea produce sfărâmarea structurii la limita grăunților;

- *formarea aşchiilor de rupere* (fig. 8.37. f) are loc când $\varepsilon_o >> \varepsilon_R$. La materialele cu capacitate de deformare redusă (ca, de exemplu, fontele) nu au loc deformații sub formă de alunecări, aşa încât ruperea intervine de la început sub formă de forfecare, în direcție aproape paralelă cu mişcarea sculei aşchietoare.

În practică pe lângă aceste feluri tipice de aşchii se întâlnesc şi varietăți intermediare, cu caracteristici care le apropie mai mult sau mai puțin de unul din tipurile descrise mai sus.

În orice caz, după forma aşchiei se pot trage concluzii asupra caracterului şi a intensității deformațiilor plastice cu care s-a produs procesul de aşchiere în condițiile date .

8.3.3.2. Procesul de aşchiere ca un proces de curgere hidrodinamică

La prelucrarea materialelor cu proprietăți de plasticitate bune, la viteze mari de aşchiere, aşchia înmagazinează o mare cantitate de căldură degajată în procesul de aşchiere, devine incandescentă şi începe să curgă pe fața de degajare ca un jet continuu de lichid. Acest mod de abordare a procesului de aşchiere este mai apropiat de realitate la aşchierea complexă şi la viteze mari şi foarte mari de aşchiere.

8.3.4. Forțele şi rezistențele de aşchiere

Determinarea forțelor care iau naştere în procesul tehnologic de aşchiere are o importanță, deosebită deoarece aceste forțe sunt cele care solicită maşina-unealtă, scula, dispozitivul şi piesa care se prelucrează. Ansamblul acestor forțe constituie elementele de plecare în proiectarea maşinii-unelte, verificarea la rezistență a sculei aşchietoare şi a dispozitivului, precum şi în calculul deformațiilor sistemului tehnologic.

8.3.4.1. Componentele forței de aşchiere

Ca urmare a mişcării relative, cu viteza v_e dintre piesă şi sculă, scula exercită o forță sub acțiunea căreia stratul de aşchiere este îndepărtat sub formă de aşchie după linia *MN*, simultan cu învingerea tuturor forțelor de frecare (interne şi externe). În fiecare element de suprafață dS_f, de pe suprafața de forfecare *MN* (fig. 8.38), apar eforturi unitare de compresiune σ_r şi eforturi unitare tangențiale τ, care dau naştere la reacțiunile fortelor de deformare plastică R_c si R_f date de relațiile:

$$R_c = \oint_{s_f} \sigma_r \cdot \mathrm{d}S_f = \sigma_r \cdot s_f \quad , \qquad (8.20)$$

$$R_c = \oint_{s_f} \tau \cdot dS_f = \tau \cdot s_f \quad , \tag{8.21}$$

în care R_c reprezintă rezistența totală la compresiune, datorată tensiunilor normale σ_r; R_f - rezistența totală la alunecare datorate tensiunilor tangențiale de forfecare τ_f.

Deplasările pe suprafața de forfecare dau naștere și unei forțe de frecare interioare F_i , proporțională cu tensiunile normale și coeficientul de frecare interioară μ_i :

$$\overline{F_i} = \mu_i \cdot \overline{R_c} \ \text{ sau } \ F_i = \mu_i \cdot \sigma_r \cdot S_f \ . \tag{8.22}$$

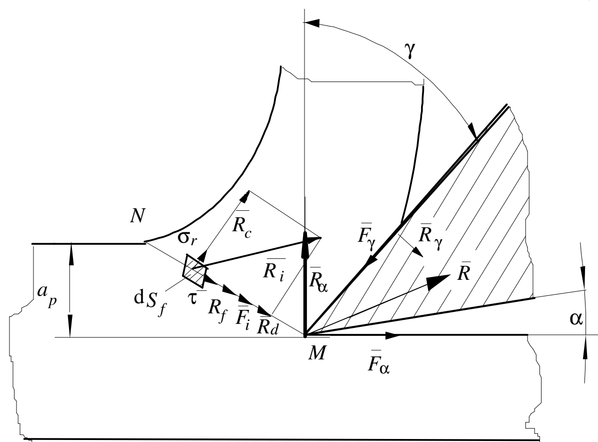


Fig. 8.38. Forțele și rezistențele de așchiere: R_c - rezistența la compresiune; R_f - rezistența la alunecare datorită tensiunilor de forfecare; F_i - forțe de frecare interioară; R_i - rezistența interioară la deformare; R_d - reacțiunea dintre material și fața de degajare; F_α - forța de frecare dintre suprafața prelucrată și fața de așezare; F_γ - forța de frecare dintre așchie și fața de degajare.

Prin urmare, din cauza deformării plastice a materialului apare o rezistență interioară de deformare R_i dată de relația :

$$\overline{R_i} = \overline{R_c} + \overline{R_f} + \overline{F_i} = \overline{R_c} + \overline{R_d} \ , \tag{8.23}$$

în care $\overline{R_d}$ este rezistența la deformare plastică.

Între sculă și suprafața prelucrată apare o forță de respingere R_α , care provine din lucrul mecanic de deformare a suprafeței prelucrate și o forță de frecare F_α între suprafața prelucrată și fața de așezare:

$$\overline{F_\alpha} = \mu_\alpha \cdot \overline{R_\alpha} \quad , \tag{8.24}$$

în care μ_α este coeficientul de frecare la interfața suprafață prelucrată-suprafață de așezare.

În mod analog, între suprafața de degajare și așchie apare forța de respingere R_γ și forța de frecare F_γ:

$$\overline{F_\gamma} = \mu_\gamma \cdot \overline{R_\gamma} \ , \tag{8.25}$$

în care μ_γ este coeficientul de frecare la interfaţa aşchie-suprafaţă de degajare.

Rezultă că, în orice moment, asupra sculei acţionează o rezistenţă totală R de forma:

$$\overline{R} = \overline{R_i} + \overline{R_\alpha} + \overline{R_\gamma} + \overline{F_\alpha} + \overline{F_\gamma} \ . \tag{8.26}$$

Rezistenţa totală R are o direcţie oarecare în spaţiu, de aceea, pentru dimensionarea sculei şi a lanţurilor cinematice ale maşinii-unelte (lanţul cinematic principal şi de avans) prezintă interes componentele după direcţiile sistemului de referinţă cinematic *Oxyz*. Determinarea modelului matematic al forţelor de aşchiere, al dependenţei acestora de condiţiile reale de aşchiere, prezintă o mare importanţă pentru:

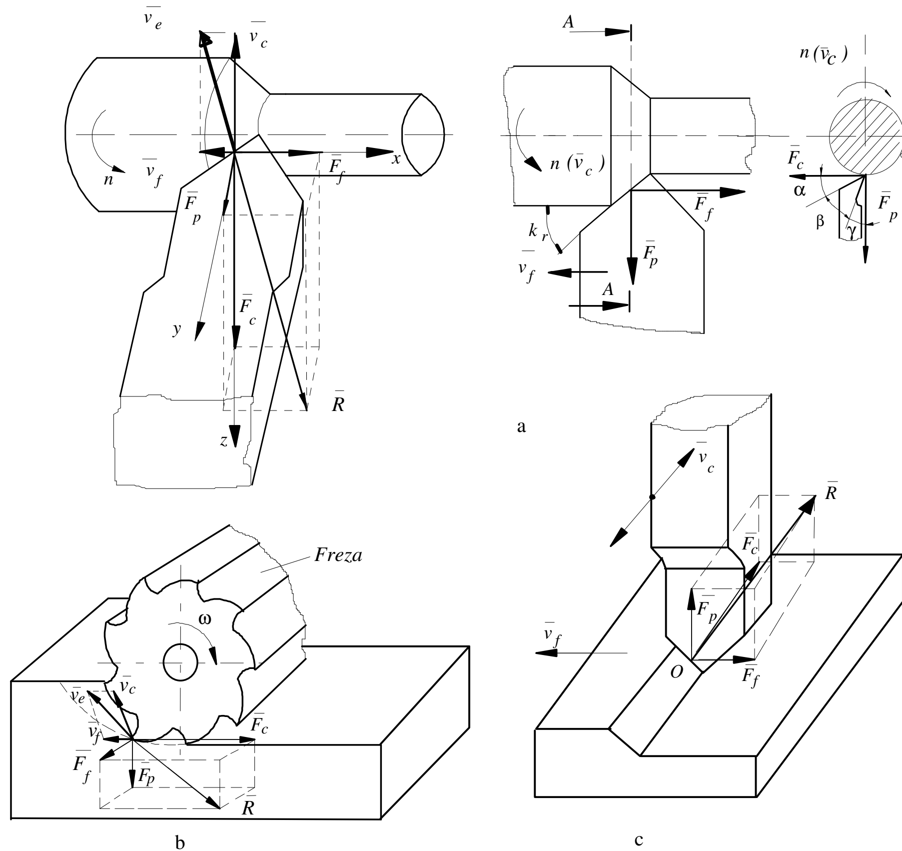


Fig. 8.39. Componentele forţei de aşchiere:
a - la strunjire; b - la frezare; c - la rabotare; R - rezistenţa totală la aşchiere; F_c - componenta principală; F_f - componenta în direcţia avansului; F_p - componenta radială.

- optimizarea procesului din punct de vedere al consumului de energie;
- obținerea datelor necesare dimensionării maşinilor-unelte, sculelor şi dispozitivelor de prindere a piesei;
- controlarea proceselor, prin intermediul forței, cu ajutorul reglajului automat.

De exemplu, componenta F_c - în direcția vitezei de aşchiere, F_f - în direcția avansului longitudinal şi F_p - în direcția avansului transversal, sunt componentele ce trebuie determinate în cazul strunjirii (fig. 8.39. a), al frezării (fig. 8.39. b) sau al rabotării (fig. 8.39. c). Între aceste componente ale forței de aşchiere există anumite rapoarte, determinate experimental, în funcție de geometria sculei. De exemplu, în cazul strunjirii, pentru $\lambda = 0^o$; $k_r = 45^o$; $\gamma = 15^o$, valorile acestor rapoarte sunt:

$$F_f = (0,25...0,35)\,F_c\,;\quad F_p = (0,35...0,50)\,F_c\ . \tag{8.27}$$

În toate cazurile, componenta cea mai importantă a forței de aşchiere, denumită *componenta principală* (F_c în cazul strunjirii) este orientată după direcția vitezei principale de aşchiere.

Expresiile componentelor forței de aschiere, determinate experimental, sunt de tip politropic:

$$\begin{cases} F_c = C_{Fc} \cdot a_P^{\,x_{Fc}} \cdot f^{\,y_{Fc}} \cdot v_c^{\,z_{Fc}} \\ F_p = C_{Fp} \cdot a_P^{\,x_{Fp}} \cdot f^{\,y_{Fp}} \cdot v_c^{\,z_{Fp}} \\ F_f = C_{Ff} \cdot a_P^{\,x_{Ff}} \cdot f^{\,y_{Ff}} \cdot v_c^{\,z_{Ff}} \end{cases} , \tag{8.28}$$

în care C_{Ff} , C_{Fp} , C_{Fc} , x_{Ff} , y_{Ff} , z_{Ff} , x_{Fp} , y_{Fp} , z_{Fp} , x_{Fc} , y_{Fc} , z_{Fc} sunt coeficienții determinați pe cale experimentală în funcție de materialul de prelucrat, materialul sculei, geometria sculei şi condițiile de aşchiere; f - avansul de aşchiere; a_p - adâncimea de aşchiere; v_c - viteza de aşchiere efectivă.

8.3.4.2. Lucrul mecanic şi puterea în procesul de aşchiere

Pentru a învinge rezistența de aşchiere a materialului şi a produce aşchierea este necesar ca maşina-unealtă să realizeze mişcarea principală şi mişcările de avans, dezvoltând o putere corespunzătoare. Lucrul mecanic E_c produs de maşina-unealtă trebuie să fie:

$$\overline{E_c} = \overline{R} \cdot \bar{l}\ \ ;\ \ E_c = R \cdot l \cdot \cos\nu\ \ , \tag{8.29}$$

în care R este rezistența totală; l - deplasarea; ν - unghiul dintre R şi l.

Deoarece prezintă importanță componentele F_f, F_p şi F_c şi deplasările unitare corespunzătoare Δl_x , Δl_y , Δl_z, lucrul mecanic L raportat la unitatea de timp capătă expresia:

$$L = F_c \cdot \Delta l_z + F_p \cdot \Delta l_y + F_f \cdot \Delta l_x\ \ . \tag{8.30}$$

Deplasările unitare sunt tocmai vitezele mişcarilor de aşchiere:

$$\Delta l_z = v_z = v_c - \quad \textit{viteza principală de aşchiere}$$
$$\Delta l_y = v_p - \textit{viteza de deplasare în lungul sculei} \qquad (8.31)$$
$$\Delta l_x = v_x = v_f - \textit{viteza de avans}$$

şi în acest caz expresia puterii P (lucrul mecanic total în unitatea de timp) va fi:

$$P = F_c \cdot v_c + F_p \cdot v_p + F_f \cdot v_f \ . \qquad (8.32)$$

În general deplasarea după direcția Oy este aproape nulă, în timpul prelucrării, deplasarea după direcția Ox se execută de regulă cu viteza de avans v_f, prin urmare, cu o eroare nu mai mare de 1...2% puterea de aşchiere se poate calcula cu relația:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{6120} \ , \qquad (8.32)$$

iar puterea motorului de acționare P_m a lantului cinematic principal

$$P_m = \frac{F_c \cdot v_c}{6120 \cdot \eta_p} \ \text{[kW]} \ , \qquad (8.33)$$

în care η_p este randamentul lanțului cinematic principal.

Pentru calculul puterii motorului ce acționează lantul cinematic de avans P_f se foloseste relația:

$$P_f = \frac{F_f \cdot v_f}{6120 \cdot \eta_f} \ \text{[kW]} \ , \qquad (8.34)$$

în care η_f este randamentul lantului cinematic de avans.

8.3.5. Fenomene ce însoțesc procesul de aşchiere

8.3.5.1. Deformarea materialului sub suprafața prelucrată

Sub acțiunea sculei aşchietoare, stratul de material de sub suprafața prelucrată suferă şi el deformații plastice. Deformațiile generate de muchia sculei aşchietoare se manifestă prin modificarea structurală şi ecruisarea (întărirea) materialului din straturile superficiale ale piesei.Intensitatea ecruisării şi răspândirea ei în adâncimea suprafeței prelucrate a_1 şi în fața cuțitului a_2 (fig.8.40) sunt variabile, depinzând mai ales de geometria sculei aşchietoare, grosimea stratului aşchiat şi de viteza de aşchiere.

Experimental se constată că deformațiile stratului superficial se datoresc faptului că orice tăiş, oricât de bine ar fi ascuțit, rămâne cu o mică rază r_β, numită

rază de bontire. Mărimile a_1 şi a_2 cresc o dată cu mărimea unghiului $(\alpha+\beta)$, a razei r_β, a grosimii stratului aşchiat a_p şi scad o dată cu creşterea vitezei de aşchiere. În general deformaţiile superficiale nu sunt de dorit deoarece:

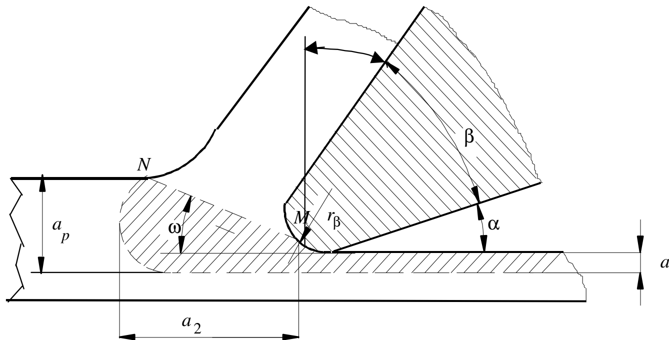


Fig. 8.40. Răspândirea deformaţiei sub linia de forfecare *MN*.

- înrăutăţesc precizia dimensională şi calitatea suprafeţei prelucrate;
- determină apariţia tensiunilor remanente de întindere în stratul superficial micşorând rezistenţa la oboseală. În anumite cazuri însă, în locul unor tratamente termice, pentru mărirea durităţii superficiale şi a rezistenţei la uzură a pieselor de tipul arborilor sau axelor, se foloseşte strunjirea cu cuţite având rază de bontire mare, unghiul de degajare mic sau negativ şi la temperaturi ridicate.

8.3.5.2.Depunerile pe tăiş

În timpul aşchierii, în funcţie de proprietăţile fizico-mecanice ale materialului prelucrat şi de condiţiile în care se desfăşoară procesul de aşchiere, pe faţa de degajare a sculei, lângă muchia tăişului se depun, ca şi cum ar fi sudate, particule din materialul aşchiat (fig. 8.41). Această depunere acoperă tăişul şi se întinde pe o porţiune de circa 1...3 mm.

Din analiza fenomenului se constată că:

- depunerea pe tăiş este formată din straturi paralele cu planurile de alunecare din aşchie;
- straturile rămase pe tăiş sunt foarte dure;
- forma depunerii şi poziţia ei faţă de tăiş variază în raport cu geometria sculei şi grosimea aşchiei; depunerea în general nu este permanentă, ea apare, creşte treptat şi dispare periodic (cu frecvenţa de 1/50...1/5 secunde); depunerile modifică geometria sculei (unghiul de aşchiere efectiv δ_2 va fi mai mic decât unghiul de aşchiere constructiv δ_1).

Depunerile pe tăiş cresc continuu în timpul aşchierii, până în momentul când aderenţa la sculă este învinsă de presiunea aşchiei, deplasându-se complet sau parţial, antrenând şi mici particule de pe tăişul sculei. În acest fel, condiţiile procesului de aşchiere variază.

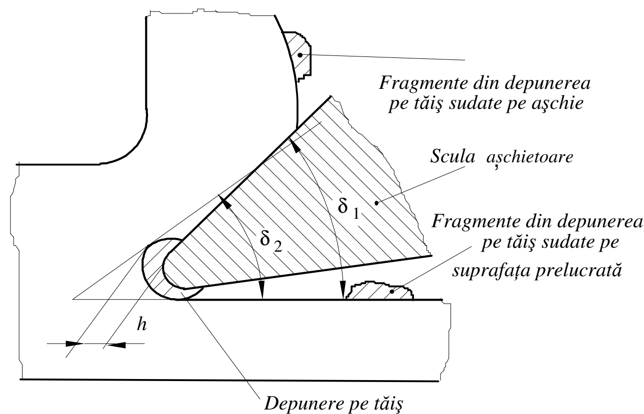


Fig. 8.41.
Depunerea pe tăiş.

Regimul de formare a depunerilor variază cu condiţiile în care se produce aşchierea, astfel:

- nu se produc decât la aşchierea materialelor ce se deformează plastic (la fonte nu apar depuneri);
- apar numai la aşchierea continuă, depinzând de viteza de aşchiere (fig. 8.42). Există o anumită *viteză critică pentru depuneri*, de la care depunerile nu se mai formează;
- zona de temperaturi cea mai favorabilă depunerilor pe tăiş este cuprinsă în intervalul 200°C...600°C, deoarece la aceste temperaturi are loc cea mai mare ecruisare a materialului.

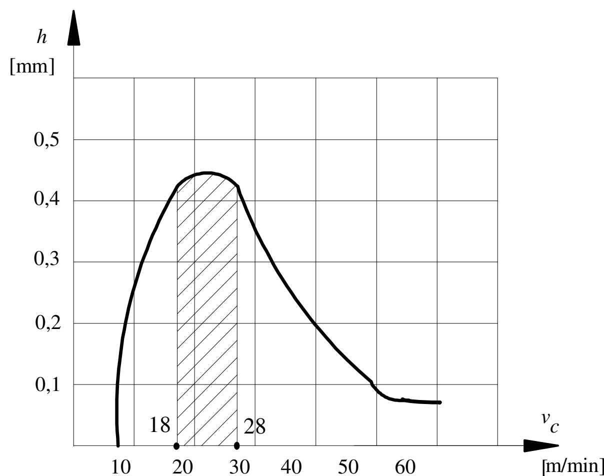


Fig. 8.42. Mărimea depunerii pe tăiş *h*, în funcţie de viteza de aşchiere v_c.

Depunerile pe tăiş prezintă unele avantaje, precum şi o serie de dezavantaje pentru modul de desfăşurare al procesului de aşchiere.

Ca avantaje se consideră:
- protejarea tăişului sculei, ferindu-l de uzură;
- creşterea unghiului de degajare , uşurând condiţiile de aşchiere;
- reducerea forţelor de aşchiere şi a temperaturii tăişului;

iar ca dezvantaje:
- modificarea cotei de reglare a sculei;
- înrăutăţirea calităţii suprafeţelor preucrate;
- variaţia forţei de aşchiere, ce constituie o sursă de vibraţii.

Prin urmare, formarea depunerilor pe tăiş la degroşare este avantajoasă (protejează cuţitul şi măreşte rezistenta lui la uzură), în timp ce la lucrările de finisare se recomandă evitarea lor (lucrul cu viteze mai mari decât viteza critică de depunere, la temperaturi mai mari de 600^o C sau mai mici de 200^o C).

8.3.5.3. Fenomene termice în procesul de aşchiere

Apariţia căldurii este un fenomen care însoţeşte în mod obligatoriu oricare proces de aşchiere. Sursa de apariţie a căldurii o constituie lucrul mecanic total L consumat în procesul de aşchiere, dat de relaţia:

$$L = L_{dp} + L_{f\gamma} + L_{f\alpha} + L_{de} + L_{oa} + L_{sa} \ , \qquad (8.35)$$

în care L_{dp} este lucrul mecanic consumat pentru deformarea plastică; $L_{f\gamma}$ - lucrul mecanic consumat prin frecări pe faţa de degajare; $L_{f\alpha}$ - lucrul mecanic consumat prin frecări pe faţa de aşezare; L_{de} - lucrul mecanic consumat pentru deformările elastice; L_{oa} - lucrul mecanic consumat pentru spiralarea aşchiei; L_{sa} - lucrul mecanic consumat pentru sfarâmarea aşchiei. Ultimii trei termeni, deci suma (L_{de} + + L_{oa} + L_{sa}), reprezintă doar 2...3% din lucrul mecanic total şi se poate neglija.

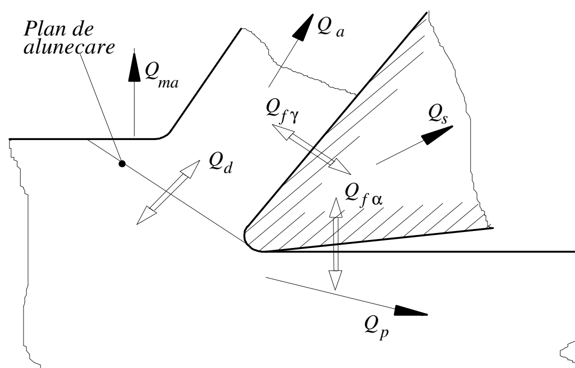


Fig. 8.43. Principalele surse de căldură în procesul de aşchiere: Q_d - căldura rezultată în planul de forfecare; $Q_{f\alpha}$ - căldura datorată frecării la interfaţa suprafaţă prelucrată - faţă de aşezare; $Q_{f\gamma}$ - căldura datorată frecării la interfaţa aşchie - faţă de degajare; Q_s - căldura disipată în sculă; Q_p - caldura disipată în piesă; Q_a - căldura disipată în aşchie; Q_{ma} - căldura disipată în mediul ambiant.

Aproape întregul lucru mecanic consumat în procesul de aşchiere (peste 99,5%) se transformă în căldură şi numai o mică parte (sub 0,5%) se înmagazinează sub formă de energie potenţială în piesă.

Principalele surse de căldură în procesul de așchiere sunt (figura 8.43):

- deformațiile plastice în planele de alunecare ale stratului așchiat (Q_d);
- frecarea dintre așchie și fața de degajare ($Q_{f\gamma}$);
- frecarea dintre așchie și fața de așezare ($Q_{f\alpha}$).

Căldura *Q,* rezultată din aceste trei zone, se transmite spre zonele cu temperatură mai scăzută, adică: în așchie (Q_a); în sculă (Q_s); în sistemul piesă - dispozitiv de prindere - mașină-unealtă (Q_p); în mediul ambiant (Q_{ma}).

Deci, se poate scrie:

$$Q = Q_d + Q_{f\gamma} + Q_{f\alpha} = Q_a + Q_s + Q_p + Q_{ma} \quad . \qquad (8.36)$$

Repartiția căldurii totale în așchie, sculă, piesă și mediul ambiant variază de la un procedeu de așchiere la altul, precum și în cadrul aceluiași procedeu, în funcție de condițiile de așchiere. De exemplu, la strunjire valorile orientative sunt:

$$Q_a=(0,5\ldots0,86)\cdot Q;\ Q_s=(0,09\ldots0,03)\cdot Q;\ Q_p=(0,4\ldots0,1)\cdot Q;\ Q_{ma}= 0,01\cdot Q\ , \qquad (8.37)$$

iar la găurire:

$$Q_a = 0,28\ Q\ ;\ Q_s = 0,52\ Q\ ;\ Q_p = 0,15\ Q\ ;\ Q_{ma} = 0,05\ Q\ \ . \qquad (8.38)$$

Cantitățile de căldură care trec în așchie, sculă și piesă se pot stabili, fie teoretic (formule de calcul empirice), fie pe cale experimentală, ridicându-se câmpul termic al sculei (fig. 8.44. a), al zonei așchie - sculă și al zonei piesă - sculă (fig. 8.44. b).

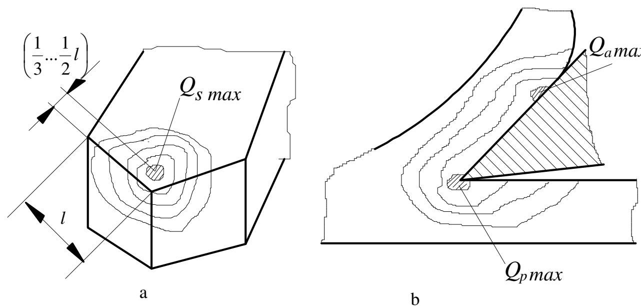


Fig.8.44.Câmpul termic: a - în partea activă a sculei; b - în zona așchie - sculă și sculă - piesă: Q_{amax} - căldura maximă în așchie; Q_{pmax} - căldura maximă în piesă; Q_{smax} - căldura maximă în sculă.

Din analiza câmpului termic se desprind următoarele concluzii:

- temperatura cea mai mare se produce în centrul de presiune al sculei (zona în care așchia apasă cel mai puternic pe fața de degajare), care este și centrul de temperatură situat la 1/3...1/2 din lungimea activă a tăișului, față de vârful sculei;
- temperatura sculei scade cu creșterea distanței față de tăiș;
- forma câmpului termic este influențată de geometria sculei;
- temperatura maximă a așchiei se înregistrează în vecinătatea punctului de desprindere de pe fața de degajare;

- temperatura aşchiei scade în direcţia suprafeţei ei exterioare, precum şi în cea a alunecărilor maxime;

- temperatura maximă în piesă se produce în planul de forfecare, spre vârful sculei.

Practic interesează în cea mai mare măsură temperatura părţii active a sculei, deoarece influenţează duritatea sculei, respectiv capacitatea sa de aşchiere, ducând la o uzură rapidă a muchiei aşchietoare. De asemenea, interesează temperatura semifabricatului, care influenţează dimensiunile sale şi introduce tensiuni interne.

Câmpul termic al părţii active a sculei este influenţat de următorii factori:

- *materialul piesei-semifabricat* ce modifică temperatura prin proprietăţile de rezistenţă mecanică. Pentru determinarea temperaturii degajate θ se foloseşte o relaţie politropică de forma:

$$\theta = \theta_0 \cdot \left(\frac{\sigma}{\sigma_0} \right)^{m_\theta} , \tag{8.39}$$

în care θ_0 este temperatura de referinţă corespunzătoare unei rezistenţe σ_0 a unui material de referinţă (se determină experimental); σ - rezistenţa materialului de prelucrat; m_θ - exponentul politropic care depinde de natura materialului de prelucrat (m_θ = 0,28...0,35);

- *materialul şi secţiunea sculei*. Cu cât conductibilitatea termică a sculei este mai mare, cu atât temperatura tăişului este mai mică, deoarece căldura primită se va transmite mai uşor spre corpul sculei. De asemenea, cu cât secţiunea părţii active este mai mare, cu atât temperatura tăişului va fi mai mică, existând o relaţie de forma:

$$\theta = \theta_0 \cdot \left(\frac{A_0}{A} \right)^{(0,06...0,1)} , \tag{8.40}$$

în care A_0 este secţiunea de referinţă; A - secţiunea efectivă.

- *geometria sculei aşchietoare*. Cu cât *unghiul de degajare* este mai mare, cu atât deformaţiile şi frecările scad, deci temperatura scade, dar cu creşterea lui γ are loc o scădere a unghiului de ascuţire β şi deci micşorarea capacităţii sale termice. Se foloseşte o relaţie de forma:

$$\theta = \theta_0 \cdot \left(\frac{\gamma_0}{\gamma} \right)^{n_\theta} , \tag{8.41}$$

în care n_θ este exponentul politropic care depinde de valorile unghiului de degajare optim $\gamma_0 = 20 \ldots 30^o$ (n_θ = 0,105...0,13).

Unghiul de aşezare α are o influenţă similară cu γ, existând un α optim pentru care temeratura este minimă. La mărirea *unghiului de atac* k_r se micşorează

lățimea aşchiei şi lungimea activă a tăişului, ducând la o concentrare mai mare de căldură pe unitatea de suprafață, crescând considerabil temperatura tăişului (fig.8.45). Temperatura θ se poate determina cu expresia:

$$\theta = \theta_0 \cdot \left(\frac{k_r}{k_{r0}} \right)^{u_\theta} , \qquad (8.42)$$

în care u_θ este exponentul politropic, care depinde de plasticitatea materialului de prelucrat şi de conductivitatea materialului sculei (u_θ = 0,18...0,26). *Raza de bontire* a vârfului r_β măreşte capacitatea termică, deci temperatura tăişului scade cu creşterea ei (fig. 8.46) după legea:

$$\theta = \theta_0 \cdot \left(\frac{r_{\beta 0}}{r_\beta} \right)^{0,11} , \qquad (8.43)$$

în care $r_{\beta 0}$ este raza vârfului de referință.

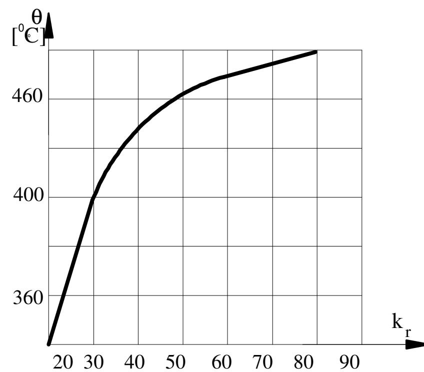


Fig. 8.45. Variația temperaturii sculei în funcție de unghiul de atac.

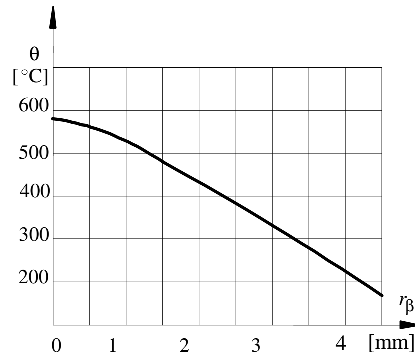


Fig. 8.46. Variația temperaturii sculei în funcție de raza de bontire .

- *elementele regimului de aşchiere*. Cantitatea de căldură degajată în unitatea de timp este proporțională cu *viteza de aşchiere şi adâncimea de aşchiere* (fig. 8.47). În acelaşi timp însă, creşterea vitezei peste anumite valori are şi un efect contrar, reducând apăsarea de aşchiere, coeficienții de frecare şi durata contactului cu fața de degajare - aşchie. Pentru temperatură este valabilă legea:

$$\theta = \theta_0 \cdot \left(\frac{v_c}{v_{C0}} \right)^{q_\theta} , \qquad (8.44)$$

în care $v_c > v_{C0}$ este viteza principală de aşchiere; q_θ - exponentul politropic (q_θ = = 0,26...0,72, la prelucrarea oțelurilor şi între 0,26...0,40, la prelucrarea fontelor).

De asemenea, temperatura tăişului creşte odată cu creşterea *avansului f* (fig. 8.48) şi deci a grosimii aşchiei. Creşterea temperaturii la mărirea grosimii

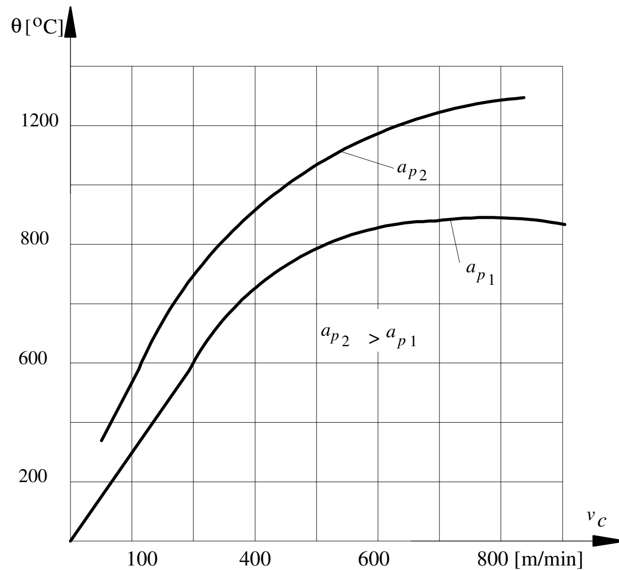


Fig. 8.47. Variaţia temperaturii sculei în funcţie de viteza de aşchiere v_c şi adâncimea de aşchiere a_p.

aşchiei (avansului) are loc politropic după relaţia:

$$\theta = \theta_o \cdot \left(\frac{h_D}{h_{Do}} \right)^{\mu_\theta} , \tag{8.45}$$

în care $h_D > h_{D0}$ este grosimea efectivă a aşchiei; μ_θ - exponent politropic funcţie de natura materialului (μ_θ = 0,20..0,45 pentru prelucrarea oţelului şi μ_θ = 0,133 pentru prelucrarea fontelor).

Căldura produsă în procesul de aşchiere acţionează asupra sculei conducând la micşorarea durităţii şi a rezistenţei la uzură a acesteia, precum şi asupra piesei, modificându-i dimensiunile şi introducând tensiuni interne. În scopul eliminării acestor inconveniente se folosesc *lichidele de răcire.*

Lichidele de răcire utilizate în procesul de aşchiere trebuie să aibă următoarele roluri:

- de *răcire* ce constă în absorbirea şi eliminarea căldurii, micşorând astfel temperatura aşchiei, sculei şi a suprafeţelor prelucrate;
- de *ungere* ce micşorează forţele de frecare aşchie-faţă de degajare şi suprafaţa prelucrată-faţa de aşezare;
- de *aşchiere* (pentru lichidele active) ce uşurează curgerea plastică şi microfisurarea în planele de alunecare;
- de *împiedicare a depunerilor pe tăiş;*

- de *protejare* a suprafeței prelucrate, a sculei, a maşinii-unelte şi a dispozitivelor contra coroziunii;
- de *spălare*.

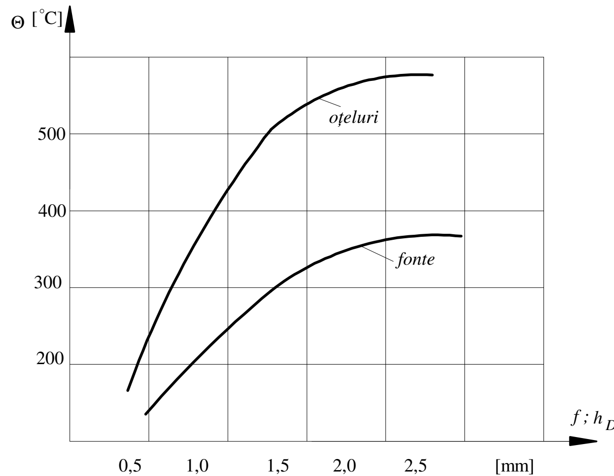


Fig. 8.48. Variația temperaturii în funcție de avansul *f* şi grosimea aşchiei h_D.

Cele mai des utilizate lichide de răcire sunt:

- soluții de electroliți;
- soluții apoase de substanțe active capilare;
- emulsii ale uleiurilor solubile în apă;
- emulsii active;
- uleiuri minerale supraactivate şi cu grafit.

Mărirea eficienței lichidelor de răcire poate fi obținută prin modificarea compoziției acestora şi prin perfecționarea metodelor de dirijare a lichidului în zona de aşchiere, deosebindu-se metodele: prin cădere liberă (fig. 8.49. I); prin presiune joasă (fig. 8.49. II); prin presiune înaltă; cu jet de aer, conținând particule

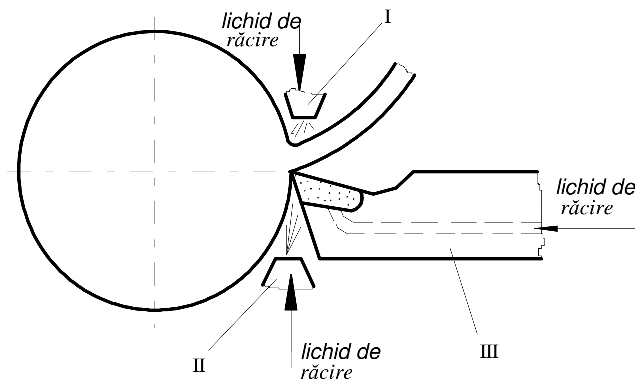


Fig. 8.49. Dirijarea lichidului în zona de aşchiere:
I - prin cădere liberă;
II - prin presiune joasă;
III - prin canale speciale.

fine de lichid pulverizat; scule speciale (fig. 8.49. III) cu răcire interioară (în cazul prelucrării suprafeţelor interioare). Lichidul de răcire trebuie înlocuit periodic sau regenerat, operaţie efectuată cu ajutorul unei instalaţii de recirculare - răcire - filtrare a maşinii-unelte.

8.3.5.4.Uzura şi durabilitatea sculelor aşchietoare

Datorită solicitărilor mecanice şi termice care apar în procesul de aşchiere, după un anumit timp de funcţionare, are loc o îndepărtare de material de pe feţele active ale sculei, ceea ce conduce la modificarea geometriei şi capacităţii de aşchiere a acesteia (apare uzura sculei aşchietoare). În funcţie de condiţiile în care are loc aşchierea, uzura se poate produce pe faţa de aşezare (fig. 8.50. a), pe faţa de degajare (fig. 8.50. b) sau pe ambele feţe (fig. 8.50. c).

Uzura mai poate să apară şi sub alte forme cum ar fi: bavuri produse prin refularea plastică a marterialului sculei, arderea materialului sculei, fisuri ale părţii active etc. Parametrii geometrici cu ajutorul cărora se apreciază uzura sunt (fig. 8.51):

- lăţimea faţetei de uzură pe faţa de aşezare (*B*);
- adâncimea craterului de uzură pe faţa de degajare (*KT*);
- diatanţa mijlocului craterului de uzură faţă de vârful sculei (*KM*);
- lăţimea craterului pe faţa de degajare (*KB*);
- deplasarea muchiei aşchietoare pe faţa de degajare (*SKv*γ);
- deplasarea muchiei aşchietoare pe faţa de aşezare (*SKv*α);

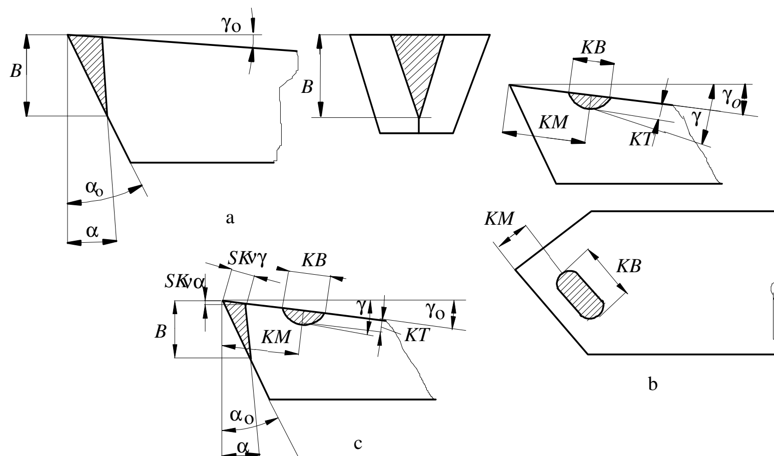


Fig. 8.50. Aspecte ale uzurii:
a - pe faţa de aşezare; b - pe faţa de degajare; c - pe ambele feţe; *B* - lăţimea faţetei de uzură pe faţa de aşezare; *KT* - adâncimea craterului de uzură pe faţa de degajare; *KM* - distanţa de la vârful sculei la mijlocul craterului de uzură; *KB* - lăţimea craterului de uzură; *SKv*α - deplasarea muchiei aşchietoare pe faţa de aşezare; *SKv*γ - eplasarea muchiei aşchietoare pe faţa de degajare.

Ca urmare a uzurii, parametrii geometrici inițiali ai părții active suferă următoarele modificări:

- datorită uzurii, pe fața de aşezare are loc o micşorare a unghiului de aşezare efectiv α ($\alpha < \alpha_o$), o mărire a razei de bontire a tăişului şi o creştere a suprafeței de contact a părții aşchietoare cu suprafața de aşchiere şi cu suprafața prelucrată. De asemenea , are loc o mărire treptată a diametrului *D*, pentru care a fost reglat inițial cuțitul (fig. 8.51), până la ($D + 2h_r$) când cuțitul a atins uzura h_r dată de relația:

$$h_r = B \cdot \text{tg}\alpha_o \quad , \tag{8.46}$$

- datorită uzurii, pe fața de degajare, se măreşte unghiul de degajare efectiv γ ($\gamma > \gamma_o$), se micşorează rezistența mecanică a tăişului şi are loc încălzirea excesivă a părții active.

Uzarea părților active, ce constă în desprinderea şi antrenarea particulelor de material de pe partea activă a sculei aşchietoare, are loc prin unul din următoarele moduri:

- *uzarea datorită solicitărilor mecanice*, care apare datorită faptului că pana tăişului de aşchiere este supusă la încovoiere şi compresiune;
- *uzarea prin abraziune*, care apare datorită constituenților metalografici duri ce există sau apar în structura materialului de aşchiat;
- *uzarea datorită apariției depunerilor pe tăiş*, care apare datorită forțelor de acțiune interatomică pe suprafețele în contact;
- *uzarea prin adeziune*, care apare ca urmare a adeziunii moleculare dintre materialul sculei şi materialul de prelucrat;
- *uzarea prin difuziune*, care apare ca urmare a creării condițiilor difuzării unor elemente din soluția solidă, a aliajului sculei, în soluția solidă, a materialului de prelucrat aflate în contact;
- *uzarea datorită oxidării materialului de aşchiat*, care apare datorită fenomenelor termice din procesul de aşchiere;
- *uzarea prin transport electric de atomi*, care apare datorită faptului că între cele două materiale diferite în contact (sculă - piesă) se formează un termocuplu, care dă naştere la forțe electromotrice şi unui curent ionic ce transportă atomi între cele două corpuri (materialul cu potențialul negativ cel mai mare se uzează mai intens);
- *uzarea prin sfărâmițare*, care apare datorită solicitărilor dinamice (vibrații, şocuri) ce pot apărea în procesul de aşchiere.

Evoluția în timp a uzurii totale fie pe fața de aşezare, fie pe fața de degajare, are trei etape distincte (fig. 8.52):

- porțiunea *OA*, cu o evoluție rapidă, numita *uzură de rodaj sau amorsare*;
- porțiunea *AB*, unde uzura creşte lent cu condițiile de exploatare ale sculei, numita uzură normală;

- porțiunea *BC*, unde uzura capată brusc o valoare mare, corespunde de regulă situației când uzura de pe fața de asezare se întâlneşte cu uzura de pe fața de degajare şi se numeşte *uzura catastrofală.*

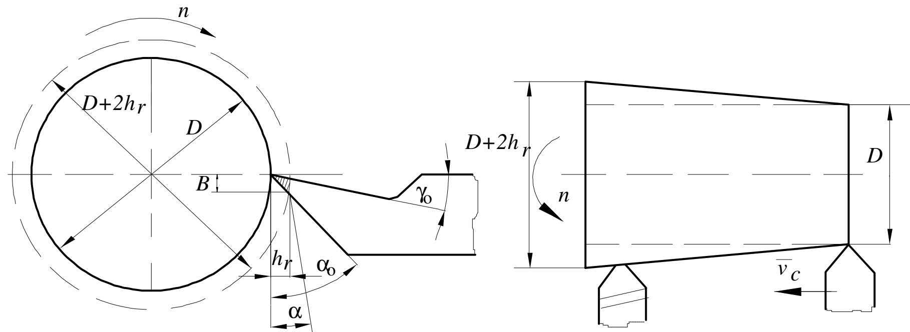


Fig. 8.51. Modificarea dimensiunilor suprafeței prelucrate datorită uzurii feței de aşezare.

Curba evoluției uzurii în funcție de timp se numeşte *caracteristica uzurii*, iar panta tangentei la curbă într-un punct se numeşte *intensitatea uzurii* sau *viteza de uzură I*, dată de relația:

$$I = \lim_{\Delta\tau \to 0} \frac{\Delta B}{\Delta \tau} = \frac{\mathrm{d}B}{\mathrm{d}\tau} = \mathrm{tg}\theta \ , \qquad (8.47)$$

în care θ este unghiul pantei de uzură.

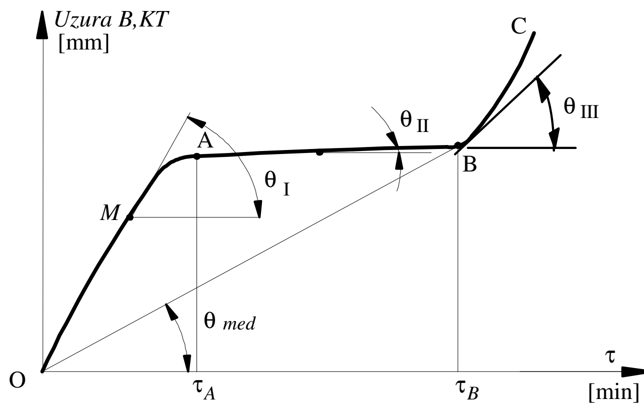


Fig. 8.52. Curba caracteristică a uzurii:
OA - uzura de rodaj;
AB - uzura normală;
BC - uzura catastrofală;
θ - unghiul pantei de uzură.

Există o anumită limitare a uzurii, numită *uzura limită admisibilă* a tăişului. Criteriul pentru stabilirea uzurii limite admisibile, în cazul prelucrărilor de finisare, $h_{r\,adm}$ este dat de toleranța diametrului Δ (fig. 8.51):

$$h_{r\,adm} \le \frac{\Delta}{2} \quad , \tag{8.48}$$

sau, ținând cont de (8.46), se obține înălțimea admisibilă a uzurii pe fața de aşezare B_{adm}:

$$B_{adm} \le \frac{\Delta}{2\text{tg}\alpha} \quad . \tag{8.49}$$

În orice proces de uzură a tăişului sculei, gradul de uzură evoluează în timp, iar în momentul atingerii uzurii admisibile este necesară reascuțirea tăişului,adică recuperarea capacități reale de aşchiere. Durata continuă de lucru a unei scule între două ascuțiri succesive se numeşte *durabilitatea sculei*, notată cu *T*. Durabilitatea sculei este unul din cele mai importante elemente ale procesului de aşchiere şi prin ea se apreciează întotdeauna uzura. În funcție de condițiile concrete ale prelucrării, durabilitatea sculei este diferită.

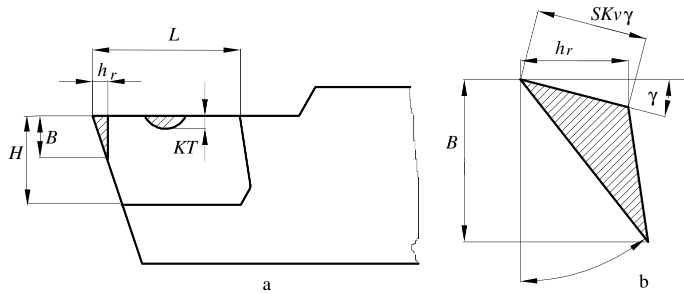


Fig. 8.53. Determinarea numărului de ascuțiri posibile i :
a - când γ = 0;
b - când γ ≠ 0.

Durabilitatea totală de serviciu a sculei (τ) este determinată de durabilitatea sculei între două ascuțiri *T* şi numărul *i* de ascuițri posibile:

$$\tau = i \cdot T \quad [\text{ min}] \quad . \tag{8.50}$$

Numărul de ascuțiri posibile *i* se determină în funcție de dimensiunile *L* şi *H* ale părții utile (fig.8.53) astfel:

$$i_{\alpha} = \frac{L}{SKv\gamma + \delta} \;\; ; \;\; i_{\gamma} = \frac{H}{KT + \delta} \quad , \tag{8.51}$$

unde:

$$SKv\gamma = B \cdot \frac{\text{tg}\alpha}{\cos\gamma} \quad , \tag{8.52}$$

iar δ este grosimea unui strat suplimentar ce se pierde la reascuțire, după eliminarea uzurilor *B* şi *KT*.

În practică interesează uzura pe faţa de aşezare, determinându-se uzura corespunzătoare celei mai mari durate τ de lucru a sculei, denumită *uzură optimă* (B_{opt}).

Asupra uzurii şi implicit asupra durabilităţii sculelor aşchietoare influenţează următorii factori:

- *natura materalului de prelucrat*, ce influenţează intensitatea uzurii în măsura în care caracteristicile lui determină variaţia apăsării de aşchiere, temperaturii şi adeziunii la materialul sculei. Intensitatea uzurii creşte cu rezistenţa şi duritatea materialului de prelucrat, iar durabilitatea are o variaţie inversă (fig. 8.54). Variaţia durabilităţii efective T_σ sau T_{HB} în funcţie de rezistenţa σ sau duritatea HB a materialului de prelucrat se exprimă prin funcţiile politropice:

$$T_\sigma = T_{\sigma_0}\left(\frac{\sigma_0}{\sigma}\right)^{mT}; \quad T_{HB} = T_{HB_0}\left(\frac{HB_0}{HB}\right)^{mT} , \qquad (8.53)$$

în care $T_{\sigma o}$, T_{HBo} sunt durabilităţile de referinţă, corespunzătoare materialului de referinţă, având rezistenţa σ_o şi respectiv duritatea HB_o; m_T - coeficient politropic în funcţie de material;

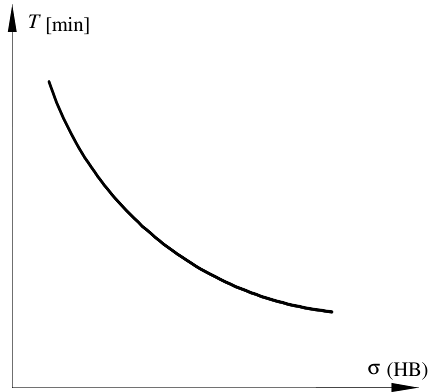


Fig. 8.54. Variaţia durabilităţii în funcţie de rezistenţa materialului de prelucrat.

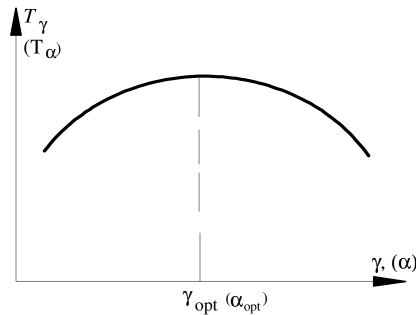


Fig. 8.55. Variaţia durabilităţii în funcţie de unghiul de degajare γ şi de aşezare α.

- *geometria sculei*. La creşterea unghiului de degajare γ şi de aşezare α, apăsarea de aşchiere scade, în schimb se micşorează unghiul de ascuţire β şi deci capacitatea termică a sculei. În consecinţă durabilitatea va avea un maxim, pentru un optim al celor două unghiuri (fig. 8.55), conform funcţiilor:

$$T_\gamma = C_\gamma \cdot \gamma^{nT}; \quad T_\alpha = C_\alpha \cdot \alpha^{nq} , \qquad (8.54)$$

în care C_γ, C_α, n_T, n_q sunt constante în funcţie de condiţiile de aşchiere.

La creşterea unghiului de atac k_r are loc o creştere a apăsării de aşchiere şi deci a temperaturii tăişului. Variația durabilității T_{kr} (fig. 8.56) are forma:

$$T_{k_r} = \frac{C_{k_r}}{k_r^{W_T}} \quad , \qquad (8.55)$$

în care C_κ şi W_T sunt coeficienți determinați experimental în funcție de condițiile de prelucrare.

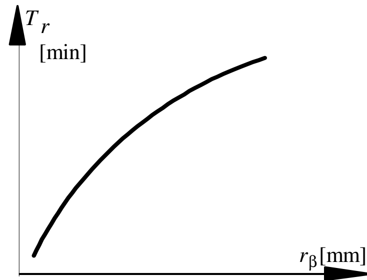


Fig. 8.56. Variația durabilității în funcție de raza vârfului r_β.

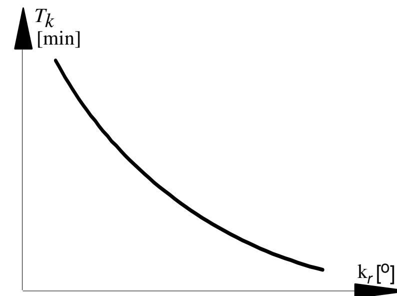


Fig. 8.57.Variația durabilității în funcție de unghiul de atac k_r.

La creşterea razei la vârf r_β, temperatura scade, deci, durabilitatea efectivă $T_{r\beta}$, creşte (fig. 8.57) după funcția:

$$T_{r\beta} = C_r \cdot r_\beta^{\ v_T} \quad , \qquad (8.56)$$

în care C_r ,q_r sunt coeficienți determinați experimental.

- *regimul de aşchiere*. Creşterea vitezei de aşchiere v_c duce la creşterea apăsării de aşchiere, deci a temperaturii tăişului şi prin urmare la scăderea durabilitații (fig.8.58. a). În mod analog mărirea avansului f conduce la creşterea apăsării de aşchiere şi, deci, a temperaturii tăişului, dar creşterea este mai lentă (fig.8.58. b). La mărirea adâncimii de aşchiere a_p, efectul creşterii apăsării la aşchiere este redus la creşterea lentă a temperaturii şi scăderea mai lentă a durabilitații (fig. 8.58. c).

Funcțiile de variație, de tip politropic, au forma:

$$T_{v_c} = \frac{C_v}{v_c^{\ zT}}; \quad T_f = \frac{C_f}{f^{\ yT}}; \quad T_{a_p} = \frac{C_{a_p}}{a_p^{\ xT}}; \qquad (8.57)$$

în care C_v, C_s , C_t , x_T , y_T , z_T sunt constante care depind de condițiile concrete de aşchiere x_T = (0,25...0,16) z_T ; y_T = (0,5...0,25) z_T ; z_T = 2...20 în funcție de natura materialului sculei de aşchiere;

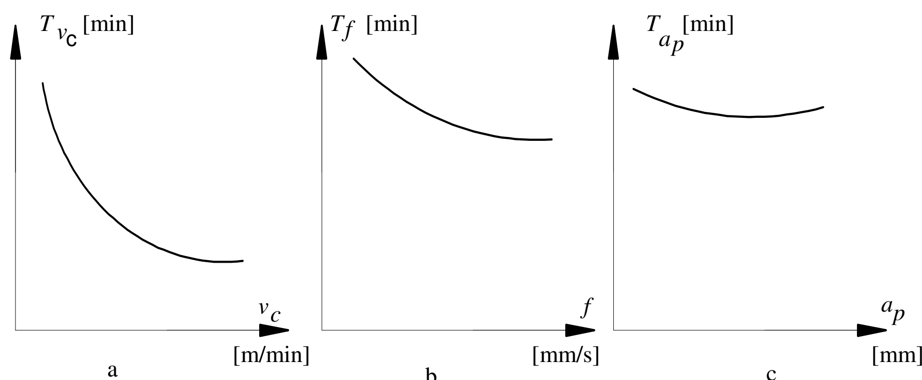


Fig. 8.58. Variația durabilității sculei în funcție de parametrii regimului de așchiere: a - viteza de așchiere; b - avansul de așchiere; c - adâncimea de așchiere.

- *lichidele de răcire – ungere* micşorează apăsarea de aşchiere, frecarea pe faţa de aşezare- suprafaţă prelucrată şi faţă de degajare - aşchie şi temperatura tăişului şi vor conduce la creşterea substanţială a durabilităţii. Experimental se constată că trecând de la aşchierea uscată la aşchierea cu răcire, durabilitatea creşte de 5...7 ori.

- *materialul sculei* influenţează în mod foarte diferit durabilitatea în funcţie de: compoziţia chimică, structură, mod de elaborare, duritatea după călire (peste 60HRC), tenacitatea suficientă la solicitările dinamice, stabilitatea termică etc.

În ordinea crescândă a rezistenţei la uzură, principalele materiale utilizate la fabricarea sculelor se grupează astfel: oţelurile carbon de scule; oţelurile aliate pentru scule; carburile metalice; materialele mineralo-ceramice; diamantul; materialele abrazive.

Ţinând cont de cele expuse mai sus se poate scrie o relaţie completă a durabilităţii efective T_{ef}, în funcţie de parametrii proceselui de aşchiere, de forma:

$$T_{ef} = \frac{C_T}{\tau^{u_T} \cdot a_p^{\,x_T} \cdot f^{\,y_T} \cdot v_c^{z_T} \cdot \gamma^{-n_T} \cdot \alpha^{-n_T} \cdot \kappa_r^{\,W_T} \cdot r_\beta^{\,-v_T} \cdot \sigma^{m_T}} \quad . \qquad (8.58)$$

Durabilitatea efectivă determinată cu relaţia (8.58) poate avea o mulţime de valori, din care trebuie alese valorile considerate optime în funcţie de anumite criterii. Se pot considera valori optime ale durabilităţii T_{opt} cele cărora le corespunde fie o productivitate maximă a operaţiei, fie un cost minim al acesteia.

8.3.5.5. Apariţia vibraţiilor în procesul de aşchiere

Capacitatea de aşchiere a unei maşini-unelte este adesea limitată de existenţa şi intensificarea vibraţiilor. Acestea conduc la o calitate necorespunzătoare a suprafeţelor, la uzuri premature ale sculei şi maşinii sau chiar la ruperea

sculei. Când apar asemenea vibrații este necesară reducerea imediată a unui parametru al regimului de aşchiere (a_p, f, sau v_c), ceea ce conduce la reducerea productivității.

Vibrațiile care apar sunt cauzate de:

- excitații forțate, datorate unor dezechilibre interne de mişcare ale organelor de maşină componente, erorilor de execuție sau erorilor de montaj;

- autoexcitații, datorate procesului de aşchiere.

Vibrațiile forțate au amplitudini mari şi consecințe nefavorabile, mai ales atunci când frecvența lor se apropie de frecvența proprie a maşinii-unelte. În general însă, ca urmare a unor măsuri tehnice (montarea izolată pe sol, reducerea maselor de dezechilibru, execuție şi montaj corect), efectul acestor vibrații poate fi redus sub limita admisă.

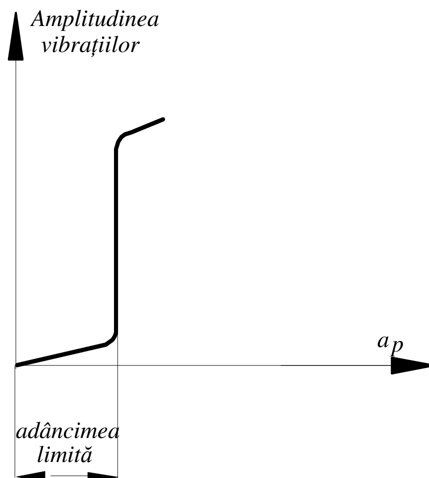


Fig. 8.59. Dependența amplitudinilor de adâncimea de aşchiere.

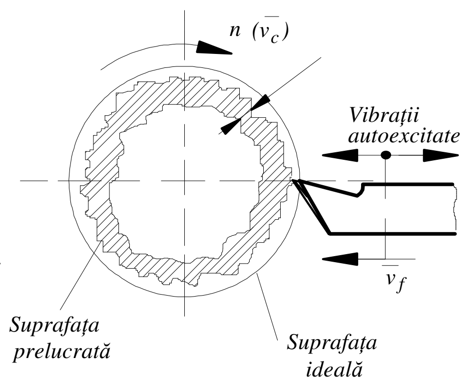


Fig. 8.60. Influența vibrațiilor autoexcitate asupra calității suprafețelor.

Vibrațiile autoexcitate sunt cele care limitează capacitatea de aşchiere şi se datorează variației forței de aşchiere. Caracteristic pentru ele este faptul că în cazul depăşirii unui parametru de aşchiere (de obicei avansul sau adâncimea de aşchiere) amplitudinile vibrațiilor cresc brusc şi sistemul tehnologic va vibra cu o anumită frecvență. De aceea, pentru fiecare caz de prelucrare se trasează experimental o diagramă de stabilitate (fig. 8.59), care să reflecte dependența între adâncimea (avansul) de aşchiere şi frecvența (amplitudinea) de rotație a sculei sau piesei.

Vibrațiile autoexcitate conduc şi la modificarea grosimii aşchiei şi deci a calității suprafeței prelucrate (fig.8.60).

8.4. ELEMENTE DE TEORIA LANȚURILOR CINEMATICE ALE MAŞINILOR-UNELTE

8.4.1. Definirea şi clasificarea lanțurilor cinematice

Realizarea procedeului de prelucrare prin aşchiere şi, prin urmare, funcționarea maşinii-unelte implică obligatoriu realizarea simultană a două procese interdependente, *procesul de generare a suprafețelor* şi *procesul de aşchiere*, în condițiile realizării unei productivități maxime, a unor costuri minime, a unor consumuri de materii prime şi energetice reduse şi a protecției utilajului şi operatorului uman.

O maşină-unealtă, indiferent de tipul ei, este o construcție robustă formată dintr-un batiu, pe care sunt montate într-o ordine corespunzatoare o serie de mecanisme de comandă, acționare şi control. Oricare maşină-unealtă se caracterizează prin cinematica ei, adică prin modul cum realizează mişcările necesare procesului de generare şi de aşchiere (mişcarea principală, mişcările de avans, mişcările auxiliare).

Structura cinematică a unei maşini-unelte constă dintr-un anumit număr de mecanisme, cu destinații şi roluri bine determinate de însăşi cinematica de realizare teoretică a curbelor *G* şi *D*. Totalitatea mecanismelor, legate între ele în vederea realizării unui anumit scop, ce primesc mişcarea de la un organ motor (mecanismul generator de mişcare), transformă şi transmite mişcarea unui organ de execuție (organul final ce se deplasează) este denumită *lanț cinematic*. Deci, structura cinematică a unei maşini-unelte constă dintr-un anumit număr de lanțuri cinematice, având roluri funcționale bine determinate.

Reprezentarea schematică a cinematicii maşinii-unelte, folosind pentru mecanismele reale simboluri grafice standardizate (tabelul 8.1), constituie *schema cinematică structurală a maşinii-unelte.*

Clasificarea lanțurilor cinematice are la bază trei criterii (fig. 8.61): scopul, modul de acționare şi legăturile dintre diferitele lanțuri cinematice. Lanturile cinematice generatoare tehnologice asigură la capătul de ieşire mişcarea principală de aşchiere caracterizată prin viteza principală v_c şi mişcările de avans caracterizate prin f, f_z sau f_p.

Din această categorie fac parte:

- *lanțul cinematic principal* asigură viteza principală de aşchiere v_c, pe traiectoria directoare sau pe o componentă a acesteia (fig.8.62. a - mişcarea principală de rotație; fig. 8.62. b - mişcarea principală rectilinie).

- *lanțul cinematic de avans* asigură poziționarea generatoarei elementare G_E sau a directoarei elementare D_E pe traiectoriile generatoare respectiv directoare cu mărimile f, f_z sau f_p (fig. 8.63).

Tabelul 8.1. *Simbolizarea mecanismelor folosite în construcția lanțurilor cinematice ale mașinilor-unelte*

Nr. crt.	Grupa	Tipul	Simbol
1	Motoare	Electrice asincrone	ME n_0
		Electrice de curent continuu	ME n_0
		Hidraulice rotative	MH n_0
2	Mecanisme de reglare a lanțului cinematic	Mecanice cu variatoare în trepte	MR i_{MR}
		Mecanice cu roți de schimb	RS i_{RS}
		Drosele	DH
3	Mecanisme diverse	De oprire - pornire	OP
		De inversare a mișcării	I
		De însumare a mișcării (diferențial)	n_1 n_2 n Dif
		De micșcare intermitentă (cu clichet, cu cruce de Malta)	n M
		De frână	f
		De comutare a mișcării	n C n_1 n_2
4	Mecanisme de transformare a mișcării circulare în mișcare rectilinie	Mecanice fără autoinversare	n n_{cd} MT
		Mecanice cu autoinversare și reglare cursă	n n_{cd} MT
		Hidraulice	n n_{cd} MTH
		Șurub piuliță	n v p
		Pinion cremalieră	v n z, m
		Camă tachet	n k v
5	Cuplaje	Rigide	
		Mobile	
		Elastice	
		Compensatoare axiale	
6	Ambreiaje	Mecanice cu fricțiune	
		Mecanice cu dinți	
		Mecanice cu disc	
		Comandate hidraulic	

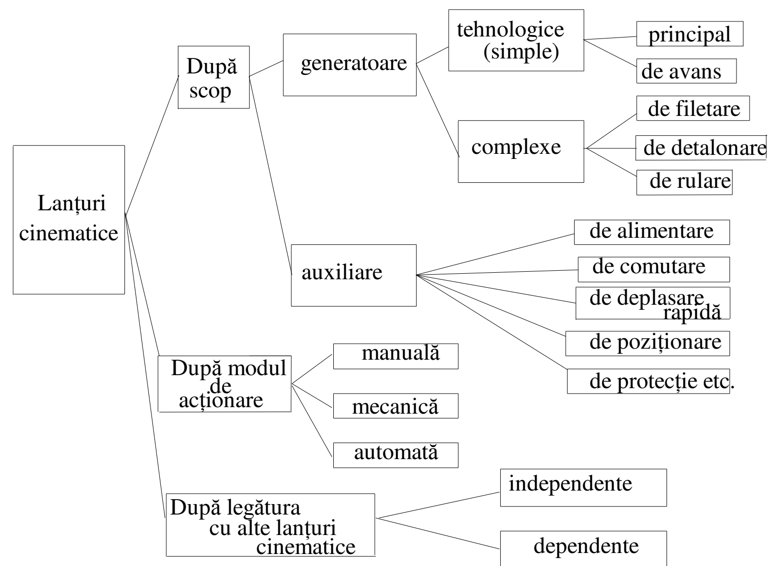


Fig. 8.61. Clasificarea lanțurilor cinematice.

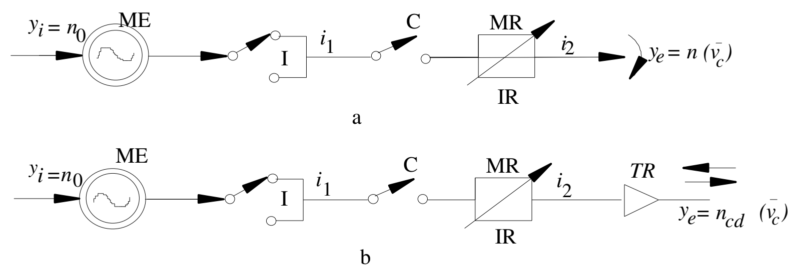


Fig. 8.62. Lanț cinematic principal pentru o:
a - mişcare principală de rotație; b - mişcare principală rectilinie.

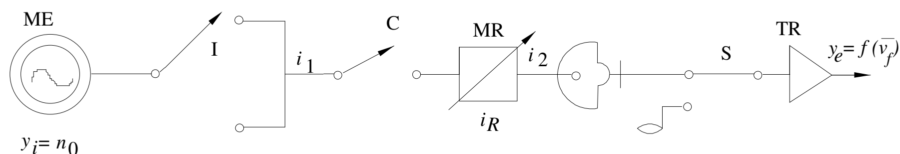


Fig. 8.63. Lanț cinematic de avans.

Lanțurile cinematice generatoare complexe asigură realizarea unor mişcări necesare generării suprafețelor pe traiectorii complexe plane sau spațiale, ca rezultat al combinării unor mişcări simple (figura 8.64 – lanț cinematic de filetare care realizează o traiectorie elicoidală).

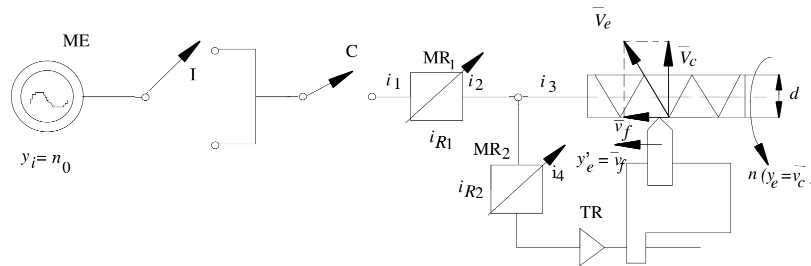


Fig. 8.64. Lanț cinematic complex (de filetare).

Lanțurile cinematice auxiliare asigură efectuarea unor operații cu funcții auxiliare, care însoțesc procesul de generare şi de aşchiere, conducând la creşterea productivitații şi la protecția operatorului şi a maşinii-unelte (de alimentare cu scule, piese, de deplasare rapidă a unor subansambluri, de poziționare etc.).

8.4.2. Funcțiile şi caracteristicile lanțurilor cinematice

Prin definiție, lanțul cinematic are următoarele funcții: de a primi, a transforma şi a transmite o mărime fizică către un organ de execuție.

Funcția de primire cere existența unor mecanisme care să primească mărimea fizică de la organul de antrenare aflat la capătul de intrare (cuplaje, ambreiaje, comutatori, contactori etc.).

Funcția de transformare cuprinde transformarea naturii, mărimii, caracteristicii de frecvență a mişcării sau transformarea sensului ei (mecanisme bielă-manivelă, cu culisă oscilantă, camă-tachet, şurub-piuliță, pinion-cremalieră, pompă-motor hidraulic rectiliniu, variatori continui sau discontinui, mecanisme de inversare etc.).

Din punct de vedere funcțional, caracteristica de bază a unui mecanism este *raportul de transfer i* (fig. 8.65), dat de relația:

$$i = \frac{x_e}{x_i} \quad , \tag{8.59}$$

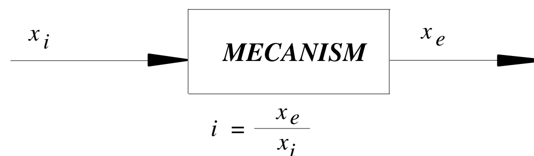


Fig. 8.65. Reprezentarea simbolică a unui mecanism.

în care x_i este *mărimea de intrare; x_e* - *mărimea de ieşire.*

O altă caracteristică a mecanismului este *ecuația de transfer,* care stabilește o relație de legătură între mărimile x_i , x_e și I, de forma:

$$x_e = i \cdot x_I \, . \tag{8.60}$$

Un mecanism poate primi de la cel din fața lui mai multe mărimi de intrare cuprinse în domeniul $x_{i\ min}$ .....$x_{i\ max}$, furnizând mai multe mărimi de ieșire, corespunzător domeniului $x_{e\ min}$ ...$x_{e\ max}$. Prin urmare mecanismul are un *raport de variație al mărimilor de intrare* R_{xi} și un *raport de variație al mărimilor de ieșire* R_{xe}, dat de relațiile:

$$R_{x_i} = \frac{x_{i\max}}{x_{i\ \min}}; \quad R_{x_e} = \frac{x_{e\max}}{x_{e\min}} \quad . \tag{8.61}$$

Calitatea mecanismului de a-și putea regla raportul de transfer este stabilită de *capacitatea de reglare a raportului de transfer* C_i :

$$C_i = \frac{i_{\max}}{i_{\min}} = \frac{x_{e\max}}{x_{i\min}} \cdot \frac{x_{i\max}}{x_{e\min}} = R_{x_i} \cdot R_{x_e} \quad . \tag{8.62}$$

Lanțul cinematic este format prin legarea în serie a mai multor mecanisme (fig.8.66.) și este caracterizat prin mărimea de intrare y_i , mărimea de ieșire y_e și raportul de transfer i_T, date de relația:

$$i_T = \frac{y_e}{y_i} \quad . \tag{8.63}$$

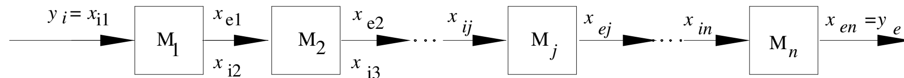


Fig. 8.66. Reprezentarea simbolică a unui lanț cinematic.

Rapoartele de transfer ale mecanismelor componente sunt:

$$i_1 = \frac{x_{e1}}{x_{i1}}; \ i_2 = \frac{x_{e2}}{x_{i2}}; \ i_i = \frac{x_{ei}}{x_{ii}}; .....i_n = \frac{x_{en}}{x_{in}} \quad . \tag{8.64}$$

Deoarece $x_{i1} = y_i$, iar $x_{en} = y_e$, raportul de transfer al lanțului cinematic devine:

$$i_T = \frac{y_e}{y_i} = i_1 \cdot i_2 \cdots i_k \cdots i_n = \prod_{k=1}^{n} i_k \quad , \tag{8.65}$$

iar ecuația de transfer a lanțului cinematic este:

$$y_e = y_i \cdot \prod_{k=1}^{n} i_k \quad . \tag{8.66}$$

Capacitatea de reglare a lanțului cinematic C_{RL} este definită prin raportul:

$$C_{RL} = \frac{i_{T\max}}{i_{T\min}} = \frac{y_{e\max}}{y_{i\min}} \cdot \frac{y_{i\max}}{y_{e\min}} = R_{yi} \cdot R_{ye} \quad . \tag{8.67}$$

De exemplu, în cazul prelucrării pe maşini-unelte, la care mişcarea principală este de rotație, pentru prelucrarea economică a semifabricatelor din diverse materiale şi de diferite dimensiuni *(d_{min} ....d_{max})* trebuie realizate viteze de aşchiere în domeniul $v_{c\ min}$ ...$v_{c\ max}$, respectiv turații într-un domeniu n_{min} ...n_{max} . Ținând cont că:

$$n_{\min} = \frac{1000 v_{c\min}}{\pi \cdot d_{\max}}; \quad n_{\max} = \frac{1000 v_{c\max}}{\pi \cdot d_{\min}} \quad , \tag{8.68}$$

se obține raportul de reglare al turațiilor:

$$R_n = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \frac{v_{c\max} \cdot d_{\max}}{v_{c\min} \cdot d_{\min}} = R_{v_c} \cdot R_d \quad , \tag{8.69}$$

în care R_{vc} este raportul de variație al vitezelor de aşchiere; R_d – raportul de variație al diametrelor semifabricatelor.

În mulțimea rapoartelor de transfer i_1, i_2,......i_n, acestea pot fi dimensionale sau adimensionale, constante sau variabile (reglabile), în funcție de tipul mecanismelor cărora aparțin.

8.4.3. Câteva mecanisme cu largă utilizare în lanțurile cinematice ale maşinilor - unelte

8.4.3.1. Mecanisme cu angrenaje cu roți dințate

Sunt folosite la transmiterea mişcării de rotație între diferite axe. Dacă mişcarea se transmite de la axul I (ax conducător) la axul II (ax condus), mărimea de intrare este $x_i = n_1$, iar mărimea de ieşire este $x_e = n_2$ şi raportul de transmitere i este de forma: $i = x_e/x_i$.

Considerând roțile cilindrice cu dinți drepți (fig.8.67) vitezele tangențiale la cercurile de rulare ale celor două roți în punctul P au mărimea:

$$v_{1p} = \pi \cdot m \cdot z_1 \cdot n_1; \quad v_{2p} = \pi \cdot m \cdot z_2 \cdot n_2 \quad , \tag{8.70}$$

în care m este modulul danturii; z_1; z_2 - numărul de dinți corespunzători; n_1, n_2 - turațiile corespunzătoare.

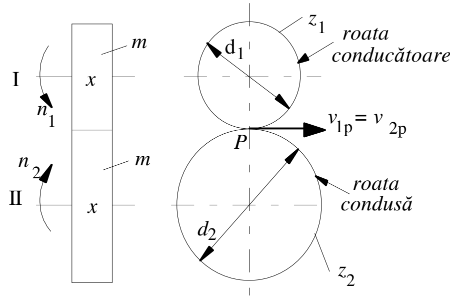


Fig. 8.67. Angrenaj cu roți dințate: m – modulul danturii; z_1, z_2 – numărul de dinți; d_1; d_2 – diametrele corespunzătoare; n_1, n_2 – turațiile corespunzatoare.

Pentru funcționarea mecanismului trebuie ca $v_{1p} = v_{2p}$, de unde rezultă:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{z_1}{z_2} \quad . \tag{8.71}$$

Deci, mărimea raportului de transmitere i, la acest mecanism este:

$$i = \frac{x_e}{x_i} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{z_1}{z_2} = \frac{d_1}{d_2} \quad , \tag{8.72}$$

în care z_1 şi z_2 reprezintă numărul de dinți ai roților conducătoare şi respectiv condusă.

Expresia lui i este aceeaşi oricare ar fi tipul roților dințate (cilindrice, conice etc.).

8.4.3.2. Mecanisme cu transmisii prin curele

Sunt folosite la transmiterea mişcării de rotație între axele aflate la distanță mare în spațiu.Dacă mişcarea de rotație se transmite de la axul I la axul II (fig. 8.68), atunci $x_i = n_1$ şi $x_e = n_2$ şi raportul de transmitere i se calculează cu relația:

$$i = \frac{x_e}{x_i} = \frac{n_2}{n_1} \quad . \tag{8.73}$$

Vitezele, în lungul curelei, tangențiale la periferia fiecărei roți de curea v_1 şi v_2, au mărimile:

$$v_1 = \pi \cdot d_1 \cdot n_1 ; \;\; v_2 = \pi \cdot d_2 \cdot n_2 \quad , \tag{8.74}$$

în care: d_1 şi d_2 sunt diametrele corespunzătoare roților conducătoare şi respectiv condusă, în mm.

Pentru ca mecanismul să funcționeze trebuie ca $v_1 = v_2$, de unde rezultă:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{d_1}{d_2} \quad , \tag{8.75}$$

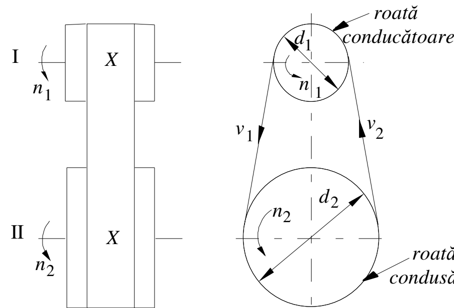


Fig. 8.68. Transmisie cu curele.

şi în consecință raportul de transmitere *i* este :

$$i = \frac{d_1}{d_2} \quad . \tag{8.76}$$

8.4.3.3. Mecanisme cu angrenaje melc-roată melcată

Sunt folosite la transmiterea mişcării de rotație între axe perpendiculare în spațiu.

În acest caz, considerând că mişcarea se transmite de la axul I al melcului cu *k* începuturi, la axul II al roții dințate cu *z* dinți (fig.8.69), raportul de transmitere *i* este dat de relația:

$$i = \frac{x_e}{x_i} = \frac{n_2}{n_1} \quad . \tag{8.77}$$

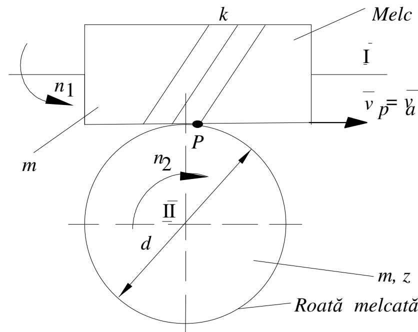


Fig. 8.69. Mecanismul melc-roată melcată.
m – modulul danturii ; *z* – numărul de dinți ai roții dințate ; *k* – numărul de începuturi ; n_1 , n_2 – turațiile corespunzătoare ; v_A - viteza unui punct de pe profilul melcului ; v_p - viteza unui punct de pe periferia rotii dintațe.

Viteza de deplasare axială a profilului melcului v_A şi viteza tangențială la cercul de rulare al roții melcate v_p au expresiile:

$$v_A = \pi \cdot m \cdot k \cdot n_1 ; \quad v_p = \pi \cdot m \cdot z \cdot n_2 \quad , \tag{8.78}$$

în care *m* este modulul danturii şi al melcului.

Punând condiția de funcționare a mecanismului: $v_A = v_p$, se deduce raportul de transmitere:

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{k}{z} \quad . \tag{8.79}$$

8.4.3.4. Mecanismul roată dințată-cremalieră cu dinți drepți sau înclinați

Este folosit la transformarea mişcării de rotație în mişcare de translație în plane perpendiculare în spațiu.

Acest mecanism transformă mişcarea de rotație a roții dințate având turația n şi z dinți (fig. 8.70), în mişcare de translație rectilinie a cremalierei cu viteza v. Deci, $x_i = n$ şi $x_e = v$, astfel încât raportul de transmitere i al mecanismului este:

$$i = \frac{x_e}{x_i} = \frac{v}{n} \quad . \tag{8.80}$$

În punctul de angrenare P viteza tangențială la cercul de rulare al roții v_P are mărimea:

$$v_P = \pi \cdot m \cdot z \cdot n \quad . \tag{8.81}$$

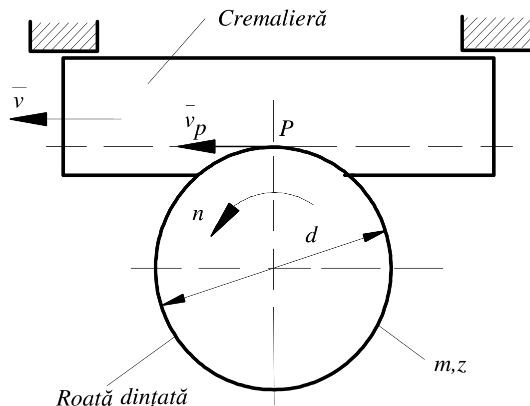


Fig. 8.70. Mecanismul cremalieră cu dinți drepți sau înclinați-roată dințată: m – modulul danturii ; z – numărul de dinți ai roții dințate; n – turația roții dințate; v- viteza unui punct de pe cremalieră; v_p - viteza unui punct de pe periferia rotii dintațe.

Mecanismul funcționează dacă $v_p = v$ şi raportul de transmitere devine:

$$i = \pi \cdot m \cdot z \quad , \tag{8.82}$$

în care m este modulul roții dințate şi al cremalierei, în mm.

8.4.3.5. Mecanismul melc-cremalieră cu dinți înclinați

Este folosit la transformarea mişcării de rotație în mişcare de translație şi transmiterea ei în plane orientate diferit în spațiu.

La acest mecanism (fig. 8.71) viteza de deplasare a profilului melcului v_A are mărimea :

$$v_A = \pi \cdot m \cdot k \, \frac{\cos\beta}{\cos\alpha} n \quad [\text{mm/min}] \ , \tag{8.83}$$

în care α este unghiul elicei flancurilor melcului; β - unghiul de înclinare al danturii cremalierei; *m* - modulul frontal al danturii cremalierei, în mm; *k* - numărul de începuturi ale melcului.

Pentru funcționarea mecanismului trebuie ca:

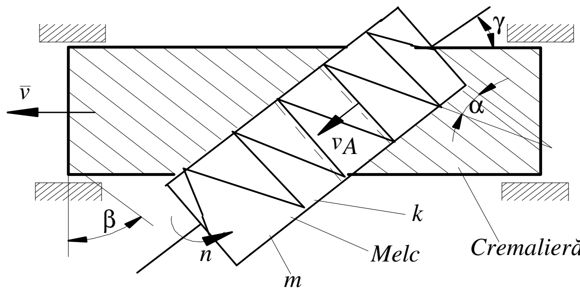


Fig. 8.71. Mecanismul melc - cremalieră cu dinți înclinați: *m* – modulul danturii; *k* – numărul de începuturi β - unghiul de înclinare al danturii cremalierei; α - unghiul elicei flancurilor melcului; γ - unghiul de înclinare al melcului față de cremalieră; v_A - viteza unui punct de pe profilul melcului; v_p - viteza unui punct de pe cremalieră.

$$v_A = v \, \frac{\cos\beta}{\cos\alpha} \ , \tag{8.84}$$

şi atunci raportul de transmitere *i* devine:

$$i = \frac{x_e}{x_i} = \frac{v}{n} = \pi \cdot m \cdot k \quad [\text{mm}] \ . \tag{8.85}$$

8.5.3.6. Mecanismul melc-cremalieră melcată

Se foloseşte la transformarea mişcării de rotație în mişcare de translație şi transmiterea ei în plane paralele în spațiu.

În acest caz (fig. 8.72) mărimea vitezei v_A este :

$$v_A = \pi \cdot m \cdot k \cdot n \quad [\text{mm/min}] \ , \tag{8.86}$$

iar viteza de deplasare a cremalierei este *v*.

Din condiția de funcționare $v_A = v$ se obține raportul de transmitere *i*:

$$i = \frac{x_e}{x_i} = \frac{v}{n} = \pi \cdot m \cdot k \quad [\text{mm}] \ , \tag{8.87}$$

în care *m* este modulul axial al cremalierei şi melcului, în mm; *k* - numărul de începuturi al melcului.

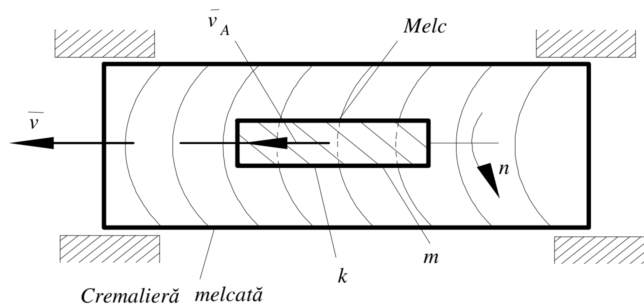


Fig. 8.72. Mecanismul melc - cremalieră melcată: *m* – modulul danturii ; *z* – numărul de dinți ai roții dințate; *k* – numărul de începuturi; *n* – turația melcului; v_A - viteza unui punct de pe profilul melcului; v_p - viteza de deplasare a cremalierei.

8.4.3.7. Mecanismul şurub–piuliță

Se foloseşte la transformarea mişcării de rotație în mişcare de translație şi transmiterea ei în mărime controlată.

La rotația şurubului cu turația *n* (fig.8.73) viteza de deplasare axială a piuliței v_A are mărimea:

$$v_A = p \cdot n \ \ [\text{mm/min}] \ . \qquad (8.88)$$

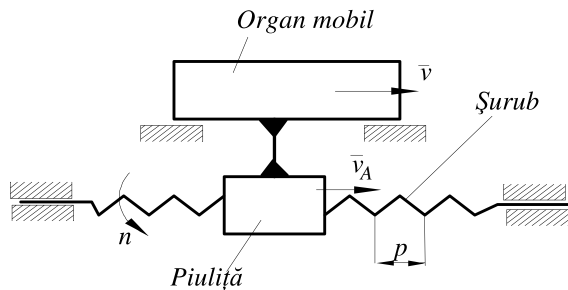


Fig. 8.73. Mecanismul şurub-piuliță.

Corp comun cu piulița face organul mobil ce se va deplasa cu viteza *v*. Pentru funcționarea mecanismului trebuie îndeplinită condiția $v_A = v$, de unde rezultă raportul de transmitere *i* de forma:

$$i = \frac{x_e}{x_i} = \frac{v}{n} = p \ \ [\text{mm}] \ , \qquad (8.89)$$

în care *p* reprezintă pasul axial al filetului şurubului şi piuliței, în mm.

8.4.3.8. Mecanism cu roți baladoare

Mecanismul este format din două , trei sau patru angrenaje (construcții cu mai multe angrenaje sunt greu de realizat) şi doi arbori (fig. 8.74), pe un arbore sunt roțile dințate deplasabile, iar pe celălalt roțile dințate fixe. Mecanismul cu două roți baladoare (fig.8.74. a) realizează rapoartele de transmitere:

$$i_1 = \frac{z_1}{z_2}; \quad i_2 = \frac{z_3}{z_4} \quad , \tag{8.90}$$

iar mecanismul cu trei roţi baladoare (fig. 8.74. b) realizează rapoartele:

$$i_1 = \frac{z_1}{z_2}; \quad i_2 = \frac{z_3}{z_4}; \quad i_3 = \frac{z_5}{z_6} \quad . \tag{8.91}$$

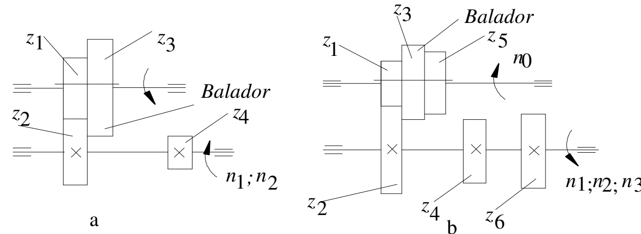


Fig. 8.74. Mecanisme cu roţi baladoare:
a - cu două roţi baladoare; b - cu trei roţi baladoare; $z_1 \ldots . z_6$ – numărul de dinţi ai roţii dinţate; n_1 ; n_2; n_3 – turaţiile corespunzătoare.

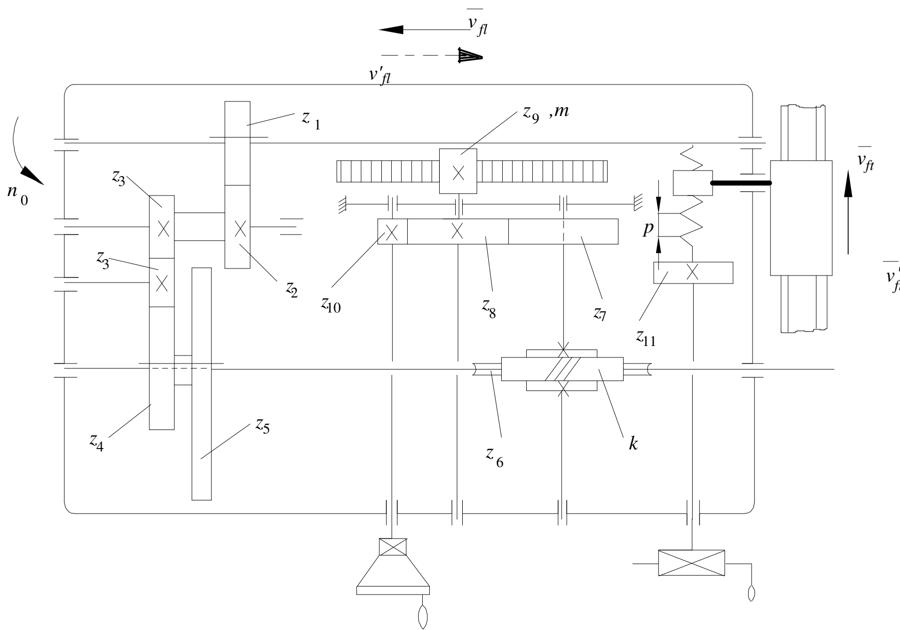


Fig. 8.75.Structura unui lanţ cinematic de avans longitudinal şi transversal; $z_1 \ldots z_{11}$ – numărul de dinţi corespunzător roţilor dinţate; p – pasul filetului; k – numărul de începuturi; n_0 – mărimea de intrare; v_{fl} ; v'_{fl} - viteza de avans longitudinal ; v_{ft} ; v'_{ft} - viteza de avans transversal.

Pentru a exemplifica modul de aplicare a aspectelor teoretice privind caracteristicile mecanismelor şi lanţurilor cinematice prezentate anterior, se consideră ansamblul din figura 8.75. Lanţul cinematic de avans longitudinal are ca mărime de intrare $y_i = n_0$, iar ca mărime de ieşire $y_e = v_{fl}$ (viteza de avans longitudinal).

Ecuaţiile acestui lanţ cinematic, pentru cele două sensuri sunt:

$$v_{fl} = n_0 \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{k}{z_6} \cdot \frac{z_7}{z_8}\ p \cdot \mathrm{m} \cdot z_9 \quad [\mathrm{mm/min}] \ , \tag{8.92}$$

$$v'_{fl} = n_0 \ \frac{z_1}{z_5} \cdot \frac{k}{z_6} \cdot \frac{z_7}{z_8}\ \pi \cdot \mathrm{m} \cdot z_9 \quad [\mathrm{mm/min}] \ . \tag{8.93}$$

Pentru lanţul cinematic de avans transversal ecuaţiile pentru ambele sensuri sunt:

$$v_{ft} = n_0 \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{k}{z_6} \cdot \frac{z_7}{z_{11}}\ p \quad [\mathrm{mm/min}] \ , \tag{8.94}$$

$$v'_{ft} = n_0 \cdot \frac{z_1}{z_5} \cdot \frac{k}{z_6} \cdot \frac{z_7}{z_{11}}\ p \quad [\mathrm{mm/min}] \ . \tag{8.95}$$

8.5. DISPOZITIVE FOLOSITE LA PRELUCRAREA PRIN AŞCHIERE

8.5.1. Definiţia, rolul şi structura dispozitivelor

Realizarea preciziei geometrice corespunzătoare la suprafeţele prelucrate prin aşchiere este posibilă numai dacă se asigură pieselor-semifabricat în timpul prelucrării, o pozţie corectă fată de scula aşchietoare şi o fixare corespunzătoare fie a piesei, fie a sculei aşchietoare, fie a ambelor pe maşina-unealtă. Pentru acest deziderat se folosesc sisteme tehnice numite dispozitive.

Dispozitivul este un sistem tehnic format dintr-un ansamblu de elemente (organe de maşini), constituind o unitate din punct de vedere tehnologic, constructiv şi functional, care stabileşte şi menţine orientarea şi fixarea semifabricatelor sau a sculelor, putând prelua şi funcţii ale maşinii-unelte sau ale operatorului.

În sistemul tehnologic de prelucrare prin aşchiere, dispozitivele sunt incluse în două locuri (fig. 8.77):

- leagă semifabricatul de maşina-unealtă, având rolul de orientare şi fixare a semifabricatului faţă de traiectoria descrisă de tăişul principal al sculei;

- leagă scula aşchietoare de maşina-unealtă, având rolul de orientare şi fixare a acesteia pe maşina-unealtă.

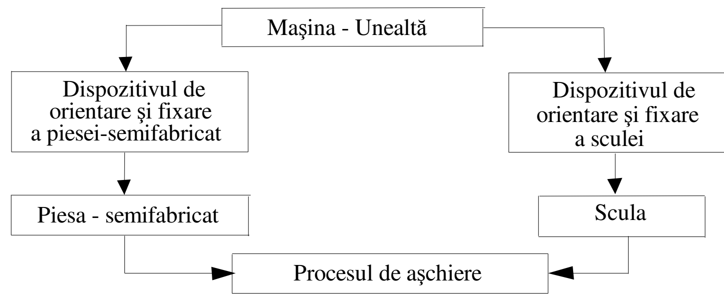


Fig. 8.77. Sistemul tehnologic la prelucrarea prin aşchiere.

După destinaţie, dispozitivele pot fi clasificate în trei mari categorii (fig.8.78):

- *dispozitive de lucru,* ce se utilizează direct în procesul de prelucrare pe maşina-unealtă;
- *dispozitive de asamblare,* ce servesc la asamblarea pieselor rezultate în urma prelucrării în subansamble sau ansamble;
- *dispozitive de control,* ce se utilizează la controlul calităţii pieselor rezultate în urma prelucrării sau subansamblelor rezultate în urma asamblării.

Avantajele utilizării dispozitivelor de prelucrare, asamblare sau control sunt:

- *creşterea productivităţii muncii,* prin: reducerea timpilor auxiliari, orientarea şi fixarea rapidă a piesei, posibilitatea prinderii şi prelucrării simultane a mai multor piese, eliminarea trasajului şi reglării la cotă a sculei pentru fiecare semifabricat;
- *mărirea preciziei de prelucrare,* prin: fixarea şi centrarea corectă a semifabricatului, eliminarea erorilor de trasare şi reglare la cotă, eliminarea dependenţei de calificarea operatorului;

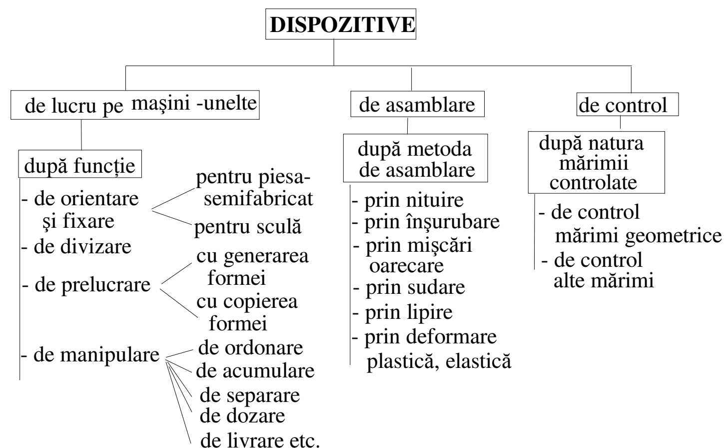


Fig. 8.78. Clasificarea dispozitivelor după destinaţie.

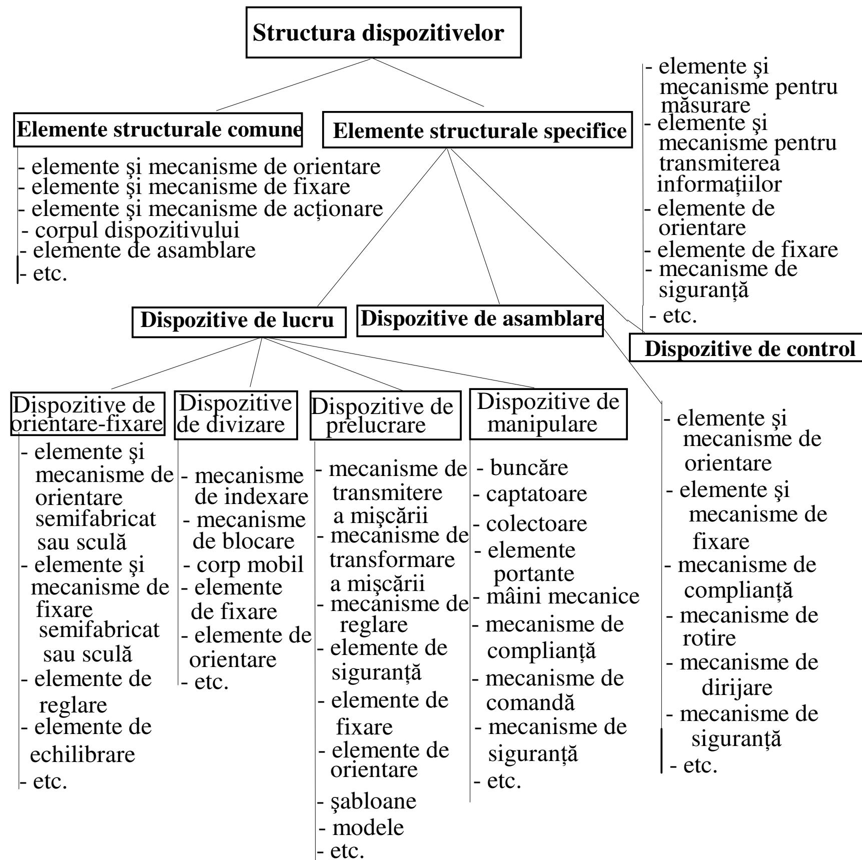


Fig. 8.79. Schema structurală a dispozitivelor.

- *reducerea costului pieselor prelucrate,* prin: creşterea capacității de producție a maşinii-unelte (prelucrarea simultană a mai multor piese), lărgirea posibilităților tehnologice de lucru ale maşinii-unelte, eliminarea rebuturilor, reducerea volumului de verificări ale poziției piesei sau sculei etc.

- *reducerea eforturilor fizice şi îmbunătățirea condițiilor de muncă pentru operator*, prin construcția şi destinația dispozitivului.

Având în vedere multiplele funcții pe care le îndeplinesc dispozitivele în procesul de prelucrare, există o mare diversitate constructivă a acestora, neputându-se vorbi de o structură comună, general valabilă pentru toate. Indiferent de tipul dispozitivului există însă în structură câteva elemente comune, celelalte fiind deosebite, în funcție de destinația dispozitivului (fig.8.79).

Utilizarea unui dispozitiv la prelucrare, asamblare sau control, precum şi gradul de complexitate al acestuia sunt determinate de seria de fabricație a pieselor

de prelucrat şi respectiv de asamblat sau controlat. Cu cât această serie de fabricație este mai mare, se pot utiliza dispozitive mai complexe, cu grad mai ridicat de mecanizare şi automatizare, deoarece costul lor se amortizează mai uşor.

8.5.2 Orientarea pieselor–semifabricat în dispozitive

8.5.2.1. Orientarea şi bazele de orientare

Operația prin care i se stabileşte semifabricatului o poziție bine determinată în dispozitiv față de direcțiile unor mişcări date, impuse de cerințele procesului de generare a suprafețelor de prelucrat, poartă denumirea de *orientare*. Reglarea dispozitivului pe maşina-unealtă, într-o poziție univocă în raport cu tăişul sculei aşchietoare, în conformitate cu cerințele cerute procesului de generare, poartă denumirea de *poziționare*.

Considerând semifabricatul ce urmează a se prelucra ca un corp în spațiu, atunci pentru fixarea lui este necesară împiedicarea deplasărilor pe anumite direcții. Daca se raportează poziția unui corp în spațiu față de un sistem de trei axe perpendiculare între ele *OXYZ*, atunci acest corp poate avea şase grade de libertate, echivalente cu posibilitățile sale de deplasare în spațiu (fig.8.80): trei translații t_x, t_y şi t_z în lungul axelor *OX, OY, OZ* şi trei rotații r_x, r_y şi r_z în jurul axelor *OX, OY* şi *OZ*.

Orientarea, ca operație în sine, se compune din mai multe faze distincte care, în funcție de geometria semifabricatului şi cerințele procesului de prelucrare, pot fi: aşezări, ghidări, sprijiniri, centrări, poziționări unghiulare etc.

Elementele geometrice ale semifabricatului (suprafețe, linii sau puncte) față de care se determină poziția altor suprafețe, linii sau puncte ce urmează a fi generate, poartă denumirea de *baze*. Ținând cont de funcționalitatea şi contribuția lor la realizarea orientării, se disting următoarele categorii de baze:

- *baze de cotare sau de măsurare* (*BC*), reprezentate prin plane, drepte sau puncte, față de care, pornind direct de la condițiile funcționale, se determină poziția suprafețelor ce urmează a fi generate (de exemplu, la prelucrarea găurii de pe semifabricatul din figura 8.81, suprafețele *A* şi *B* constituie baze de cotare);

- *baze de orientare*, formate din suprafețele, muchiile sau punctele după care se face orientarea semifabricatului în dispozitiv, pornind direct sau indirect de la condițiile funcționale.Aceste baze se pot suprapune total sau parțial peste cele de cotare, numite *baze principale*, sau pot fi complet distincte, numite *baze secundare*. Pe bazele de orientare se anulează semifabricatului, în mod condiționat, un număr de grade de libertate (evidențiat pe schemele de orientare printr-un număr corespunzător de cerculețe pline –•–•–•–). Elementele de dispozitiv, care vin în contact cu bazele de orientare anulând gradele de libertate, poartă denumirea de *reazeme principale*;

- *baze auxiliare*, care leagă grade de libertate care nu sunt reclamate de

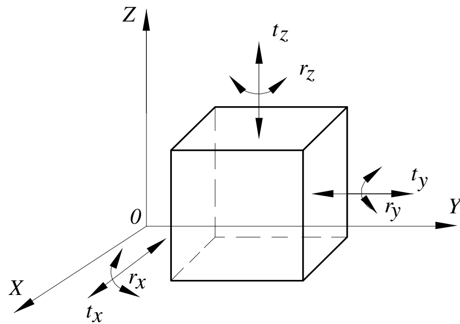


Fig. 8.80. Posibilitățile de deplasare ale unui corp în spațiu:
t_x; t_y; t_z –translații în jurul axelor *Ox* şi respectiv *Oy; Oz;* r_x; r_y; r_z – rotații în jurul axelor *Ox* şi respectiv *Oy, Oz.*

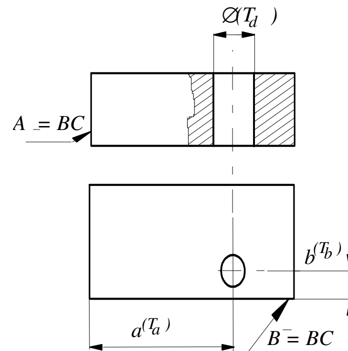


Fig. 8.81. Definirea bazelor unui semifabricat:
BC - baze de cotare; T_a, T_b, T_d – toleranțe de execuție la cotele respective.

procesul de orientare, ci de necesități determinate de închiderea circuitului forțelor de inerție etc. şi nu participă la orientarea suprafețelor de generat. Elementele de dispozitiv care vin în contact cu aceste baze se numesc *reazeme auxiliare* (gradele de libertate anulate se marchează pe schema de orientare cu cerculețe goale –o–o–o–).

8.5.2.2. Principii şi scheme de orientare

Pentru a i se lua semifabricatului un anumit număr de grade de libertate este necesar ca el să fie aşezat pe un număr bine determinat de puncte. Se deosebesc:

- *aşezarea pe trei puncte* (fig.8.82. a) ce are ca rezultat pierderea a trei grade de libertate (două rotații şi o translație). Suprafața semifabricatului care vine în contact cu aceste punte se numeşte *bază de aşezare* (în planul *XOY*);

- *aşezarea pe cinci puncte*, situate în două plane (fig. 8.82.b), dintre care trei puncte într-un plan, iar celelalte două în alt plan, are ca rezultat pierderea a cinci grade de libertate (trei rotații şi două translații). Linia pe care se găsesc cele două puncte de contact din planul *YOZ* se numeşte *bază de ghidare*;

- *aşezarea pe şase puncte*, situate în trei plane (fig.8.82.c), dintre care trei într-un plan, două în alt plan şi unul în al treilea plan, având drept rezultat pierderea tuturor gradelor de libertate. Deoarece punctul din planul *XOZ* realizează doar o sprijinire a corpului pe plan, această suprafață de orientare se numeşte *bază de sprijin*.

Indiferent de complexitatea formei geometrice a semifabricatului, orientarea se face pe un număr redus de tipuri de suprafețe (fig. 8.83). Din punct de vedere al procesului de orientare nu interesează intervalul de variație a dimensiuni-

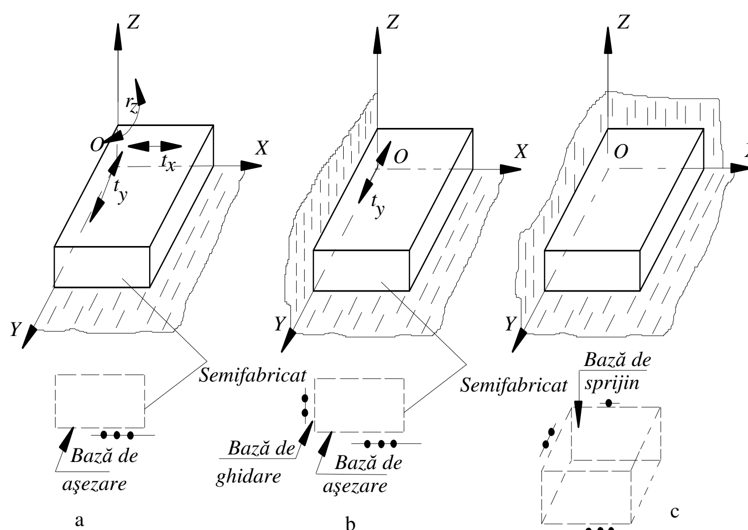


Fig. 8.82. Orientarea unui corp în spaţiu folosind:
a - bază de aşezare; b - bază de aşezare şi bază de ghidare; c - bază de aşezare, bază de ghidare şi bază de sprijin.

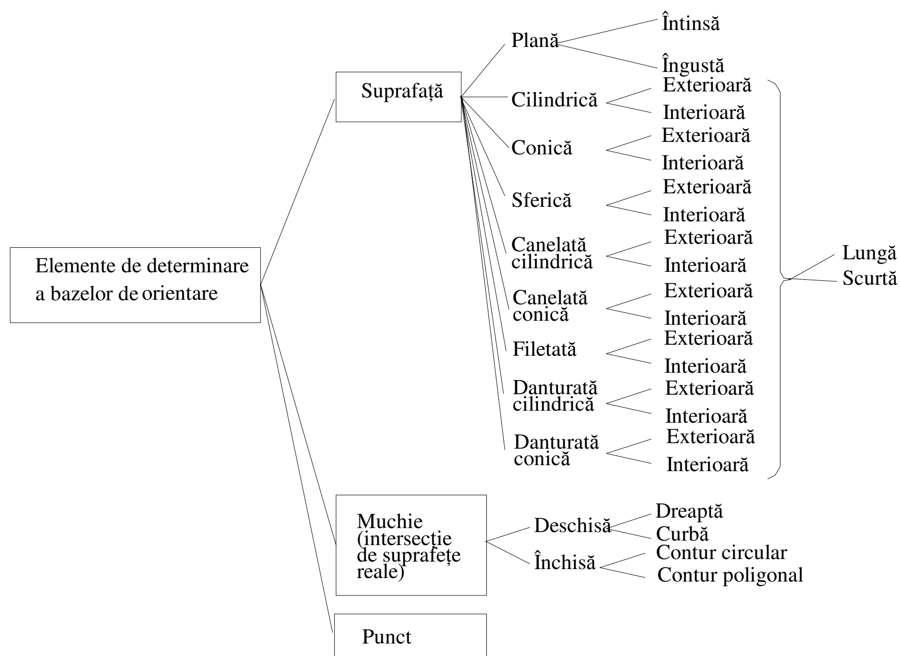


Fig. 8.83. Clasificarea elementelor ce pot determina bazele de orientare.

lor, ci raportul dintre aceste dimensiuni, raport ce defineşte două categorii de suprafeţe: *lungi* şi *scurte.*

La stabilirea bazelor de orientare şi a sistemului de orientare format din acestea, trebuie să se aibă în vedere următoarele principii:

- atunci când sistemul bazelor de orientare coincide cu sistemul bazelor de cotare se obţin erori minime de bazare;
- la alegerea sistemelor de orientare trebuie să se evite supraorientarea (suprarezemarea) semifabricatului;
- orientarea cea mai stabilă şi precisă se realizează atunci când baza corespunzătoare suprafeţei de orientare cu aria maximă este materializată în întregime în dispozitiv prin elementele de orientare;
- orientarea cea mai precisă se obţine atunci când contactul dintre reazeme şi suprafeţele de orientare ale semifabricatului este punctiform etc.

1. Baze de orientare determinate de suprafeţe plane. Aşa cum s-a văzut în figura 8.82 , pe o suprafaţă plană a unui semifabricat pot fi legate trei, două sau un grad de libertate.

Spre exemplu, atunci când bazele de orientare coincid cu bazele de cotare, preluarea gradelor de libertate, la prelucrarea canalului *d*, se face ca în f igura 8.84.

Atunci când bazele de cotare sunt plane de simetrie a două suprafeţe plane (fig.8.85), rezemarea semifabricatului nu se poate face pe astfel de baze, întrucât sunt fictive. De exemplu, când canalul *d* este simetric faţă de suprafeţele A_1 şi A_2 sistemul bazelor de cotare este format din planele BC_1 , BC_3 şi un punct *P*.

Dacă se alege *P* ca bază de orientare, atunci materializarea în dispozitiv se face cu un *mecanism autocentrant* (fig. 8.85).

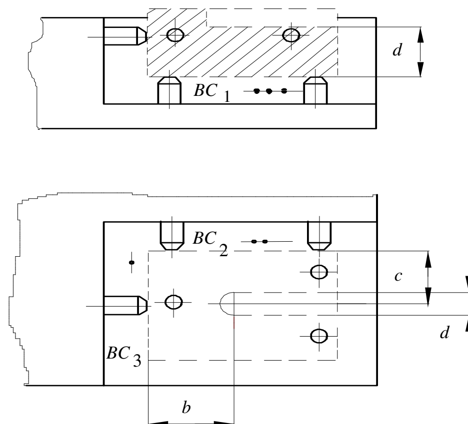


Fig. 8.84. Cazul când bazele de orientare coincid cu bazele de cotare BC_1, BC_2, BC_3:
—•••— - bază de aşezare; —••— - bază de ghidare; —•— - bază de sprijin.

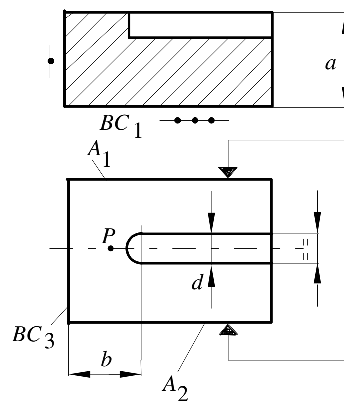


Fig. 8.85. Cazul când bazele de cotare sunt imaginare şi nu coincid cu bazele de orientare:
—•••— - bază de aşezare; —•— - bază de sprijin;
- mecanism autocentrant.

Bazele de aşezare, de ghidare sau de sprijin, determinate de suprafeţele plane, sunt materializate în dispozitivele de prelucrare prin *reazeme.*

Reazemele pentru suprafeţe plane se împart în trei mari categorii:

- *reazeme fixe*: cepuri (fig. 8.86. a), plăci şi mese de reazem;
- *reazeme reglabile* (fig. 8.86. b);
- *reazeme autoreglabile* (fig.8.86. c).

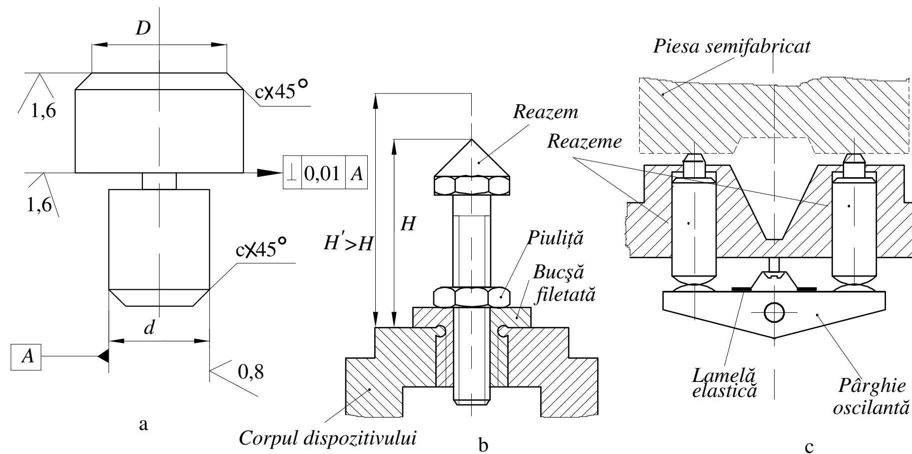


Fig. 8.86. Tipuri de reazeme:
a - fixe; b - reglabile; c - autoreglabile.

2. Baze de orientare determinate de suprafeţe cilindrice interioare. La orientarea unui semifabricat pe o suprafaţă cilindrică interioară lungă ($l > d$), prin rezemarea pe un dorn cilindric pe care semifabricatul intră cu joc (fig.8.87), sau pe un dorn autocentrant care anulează jocul iniţial (fig.8.88), semifabricatului i se leagă patru grade de libertate (două translaţii şi două rotaţii).

În cazul în care rezemarea semifabricatului se face pe un dorn autocentrant, axa alezajului se materializează în dispozitiv mai precis, întrucât se elimină jocul iniţial (la tragerea axială a tijei conice 1, cu forţa F, bucşa elastică 2 este împinsă de cilindrul 4 pe conul corpului 3 şi deformată radial, realizând suprapunerea axei sale peste axa semifabricatului).

În cazul în care elementul de orientare are lungimea de orientare mult mai mică decât diametrul (fig. 8.89), deci este un dorn scurt, nu se mai pot prelua rotirile r_y şi r_z, ci doar două deplasări t_y şi t_z.

Practic, orientarea semifabricatelor numai pe baze cilindrice interioare se face relativ rar, de obicei, acestea se asociază cu orientarea pe baze plane, într-unul din următoarele două moduri:

- orientarea pe o suprafaţă cilindrică interioară şi o suprafaţă plană perpendiculară pe aceasta (fig. 8.90. a şi b);

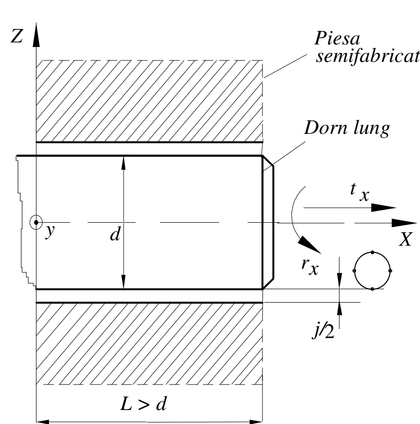


Fig. 8.87. Orientarea semifabricatului pe dornuri lungi:
r_x –rotația în jurul axei *Ox*; t_x – translația în lungul axei *Ox* ; - simbolul dornului cilindric lung.

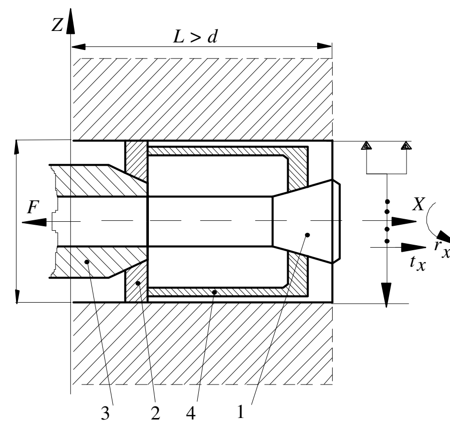


Fig. 8.88. Orientarea semifabricatului pe suprafețe cilindrice interioare autocentrante:
r_x – rotația în jurul axei *Ox ;* t_x – translația în lungul axei *Ox* ; - simbolul dornului autocentrant lung.

- orientarea pe două suprafețe cilindrice interioare, cu axe paralele, şi o suprafață plană, perpendiculară pe acestea. În acest caz, elementele de reazem care permit realizarea orientării sunt două dornuri: unul cilindric introdus în gaura D_1 (fig. 8.91), care asigură centrarea după axa acestei găuri, şi unul frezat, introdus în gaura D_2 . Motivul pentru care unul din bolțuri este frezat se datorează faptului că

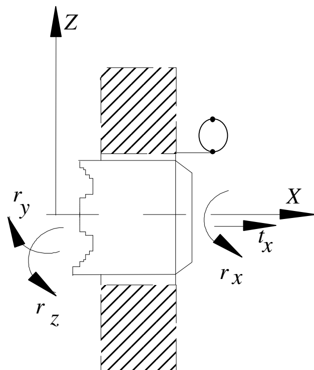


Fig. 8.89. Orientarea semifabricatelor pe dorn scurt:
r_x; ,r_y ; r_z – rotațiile în jurul axelor *Ox, Oy, Oz;*
t_x – translația în lungul axei *Ox* ;
- simbolul dornului scurt;

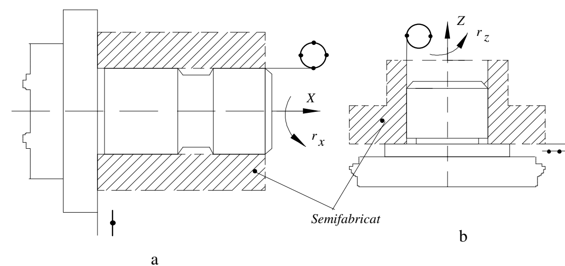


Fig. 8.90. Orientarea pe suprafață cilindrică interioară şi suprafață plană:
a - folosind dorn lung şi bază de sprijin; b - folosind dorn scurt bază de aşezare.

atât distanța dintre axele găurilor, cât şi cea dintre axele dornurilor se execută în câmpuri de toleranță diferite. Din cele prezentate rezultă că rezemarea pe o suprafață cilindrică interioară a unui semifabricat leagă patru (dorn lung), două (dorn cilindric scurt, dorn lung frezat) sau un grad de libertate (dorn scurt frezat).

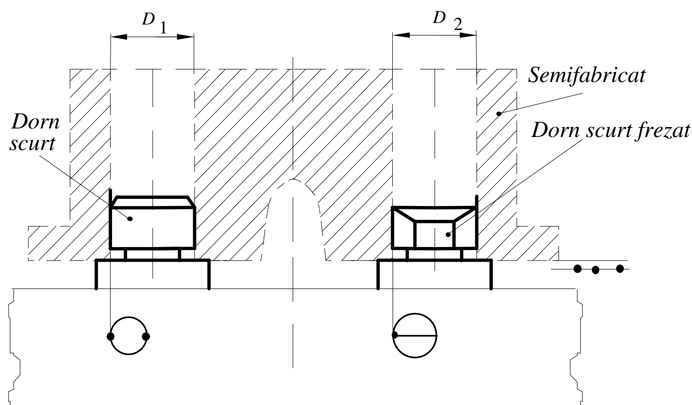


Fig. 8.91. Orientarea semifabricatului pe suprafețe cilindrice interioare şi suprafețe plane: - simbolul pentru dornul cilindric scurt ; - simbolul pentru dornul cilindric scurt şi frezat; - simbolul pentru baza de aşezare.

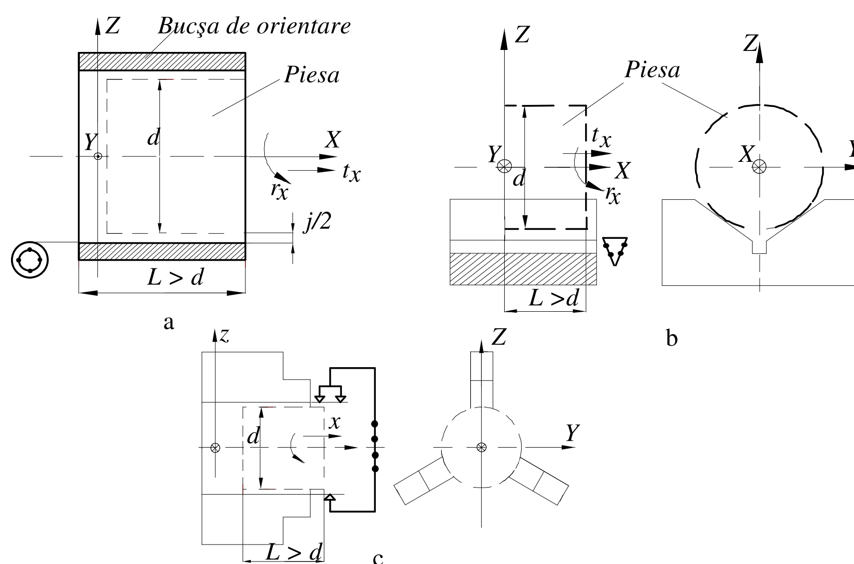


Fig. 8.92. Orientarea pe suprafețe cilindrice exterioare lungi:
a – pe bucşe rigide; b - pe prisme; c - cu mecanisme autocentrante: r_x – rotația în jurul axei *Ox;*
t_x – translația în lungul axei *Ox*; - simbolul pentru orientarea pe bucşă cilindrică lungă;
- simbolul pentru orientarea pe prismă lungă ; - simbolul pentru mecanism autocentrant.

3. Baze de orientare determinate de suprafeţe cilindrice exterioare. Orientarea semifabricatelor pe suprafeţe cilindrice exterioare se face pe *bucşe* rigide (fig. 8.92. a), pe care semifabricatele se introduc cu joc limitat *j*, pe *prisme* (fig. 8.92. b) sau cu *mecanisme autocentrante* (fig. 8.92.c), denumite mandrine, care anulează jocul necesar introducerii semifabricatului.

La orientarea pe o suprafaţă cilindrică exterioară lungă i se leagă semifabricatului patru grade de libertate: t_y, t_z, r_y şi r_z (fig.8.92).

În cazul în care bucşa rigidă, prisma sau mecanismul autocentrant realizează orientarea pe o suprafaţă cilindrică exterioară scurtă ($l < d$), se leagă doar două grade de libertate t_y şi t_z (fig. 8.93).

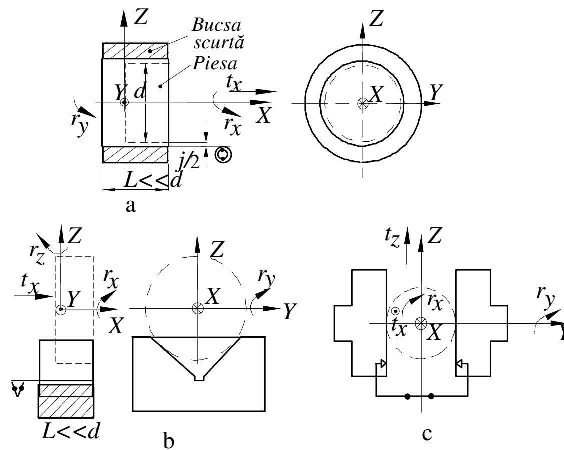


Fig. 8.93. Orientarea pe suprafeţe cilindrice exterioare scurte:
a - pe bucşă rigidă; b - pe prismă scurtă; c - cu mecanism autocentrant cu două fălci l; - simbolul pentru orientarea pe bucşă scurtă ; - simbolul pentru orientarea pe prismă scurtă ; - simbolul pentru orientarea cu mecanism autocentrant cu două fălci.

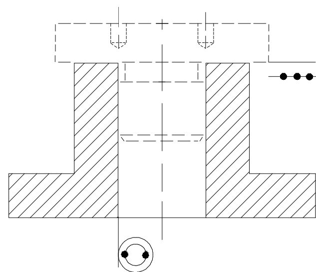


Fig. 8.94. Orientarea pe suprafeţe cilindrice exterioare scurte şi pe suprafeţe plane:
- simbolul pentru orientarea pe bucşă scurtă; - simbolul pentru baza de aşezare.

De obicei orientarea semifabricatelor cilindrice nu se face numai pe suprafaţa cilindrică, ci şi pe combinaţii ale acesteia cu alte tipuri de suprafeţe (mai frecvent plane, ca în figura 8.94).

4. Baze de orientare determinate de suprafeţe conice exterioare şi interioare. Orientarea semifabricatelor pe suprafeţe conice interioare se face pe dornuri conice, iar pe suprafeţe conice exterioare, pe bucşe conice. La orientarea semifabricatului pe o suprafaţă conică interioară lungă, pe un dorn conic lung (fig. 8.95. a), pe o suprafaţă conică exterioară sau pe o bucşă conică (fig. 8.95. b) se leagă semifabricatului cinci grade de libertate: t_x, t_y, t_z, r_y şi r_z

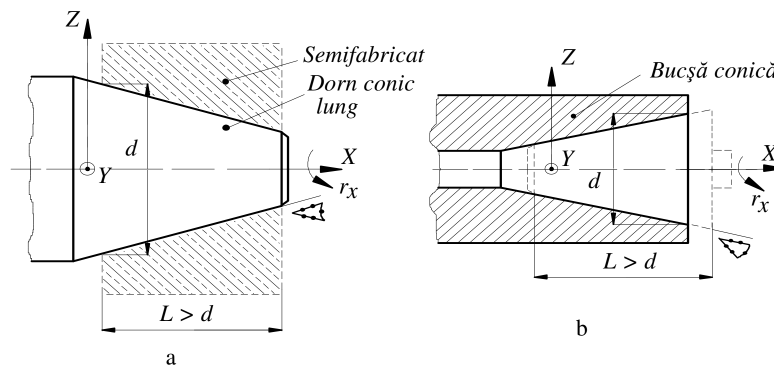


Fig. 8.95. Orientarea semifabricatului pe suprafeţe conice:
a - interioare folosind dorn lung; b - exterioare folosind bucşă conică: - simbolul pentru orientarea pe bucşă conică lungă; - simbolul pentru orientarea pe dorn conic lung.

Dacă elementul de orientare sau suprafaţa conică a semifabricatului are o lungime mult mai mică decât diametrul alezajului conic, se pot lega numai trei grade de libertate: t_x, t_y, t_z (fig. 8.96).

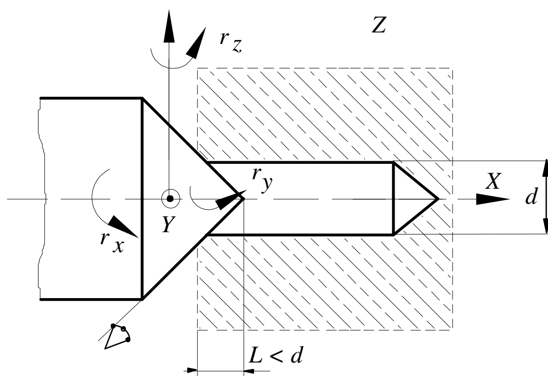


Fig. 8.96. Orientarea pe suprafeţe conice scurte :
- simbolul pentru orientarea pe dornuri conice scurte;
r_x , r_y , r_z - rotaţii în jurul axelor *Ox* , *Oy* , *Oz*.

Cele mai utilizate sisteme de orientare determinate de suprafețe conice sunt reprezentate în figura 8.97. a, în care semifabricatul tip arbore se orientează pe un dorn conic fix 1 şi pe un con mobil 2, sau ca în figura 8.97. b, în care semifabricatul se orientează cu două conuri mobile, care permit realizarea cotei *a*, la precizii ridicate.

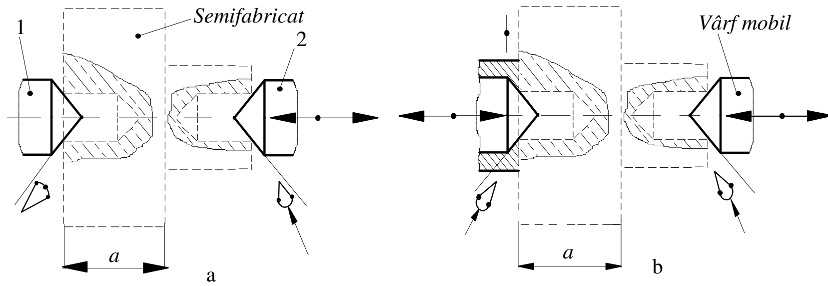


Fig. 8.97. Orientarea pe găuri de centrare, folosind vârfuri de centrare:
a - cu dorn conic fix şi con mobil; b - cu două conuri mobile: - simbolul pentru orientarea pe dorn conic scurt fix; - simbolul pentru orientarea pe dorn conic scurt mobil; - simbolul pentru bază de sprijin.

5. Baze de orientare determinate de suprafețe sferice. Orientarea semifabricatelor pe suprafețe sferice este mai puțin întâlnită. Suprafețele sferice exterioare ale semifabricatelor se orientează pe elemente de orientare cu conuri interioare (fig. 9.98. a) şi leagă semifabricatului cele trei translații t_x, t_y, şi t_z. Suprafețele sferice interioare se reazemă pe elemente de orientare cu suprafețe sferice limitate (fig. 8.98. b) şi leagă semifabricatului tot cele trei translații t_x,t_y, t_z.

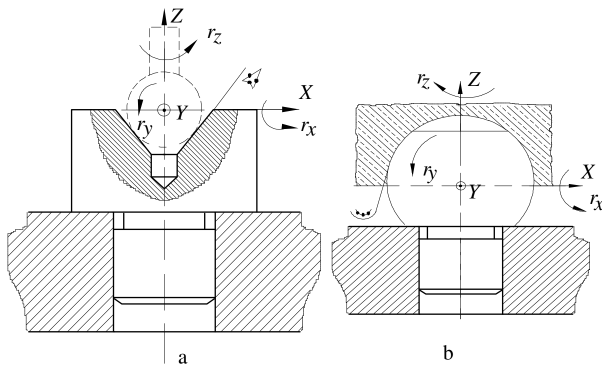


Fig. 8.98. Orientarea semifabricatelor pe suprafețe sferice :
a - exterioare; b – interioare;
- simbolul pentru orientarea pe bucşe conice;
- simbolul pentru orintarea pe cepuri cu cap sferic

În concluzie se poate spune că, existând o mare diversitate de piese - semifabricat, există o mare diversitate de suprafețe de orientare şi, prin urmare, o gamă largă de elemente de orientare.

8.5.2.3. Stabilirea schemei optime de orientare a semifabricatelor în dispozitive

Pentru orientarea unui semifabricat în vederea prelucrării se pot folosi mai multe scheme de orientare (deoarece aceeaşi bază poate fi orientată în diferite moduri), din care trebuie aleasă cea mai convenabilă.

Varianta economică de orientare a unui semifabricat la prelucrarea unei suprafețe este acea variantă care corespunde unor baze de orientare şi elemente de orientare din care se obține dispozitivul cel mai simplu, care îndeplineşte şi cerințele legate de precizia de prelucrare.

Câteva din cele mai des utilizate elemente de reazem pentru orientarea semifabricatelor în dispozitive se prezintă în tabelul 8.2.

Etapele necesare întocmirii schemei optime de orientare (S.O.) şi schemei de fixare (S.O.F.) se prezintă în figura 8.99, luându-se în considerare două criterii de optimizare: *precizia orientării* şi *costul dispozitivului*. După cum rezultă din figură, în primul rând trebuie stabilite toate variantele de orientare şi găsirea celor care sunt posibile şi raționale, din punct de vedere tehnic.

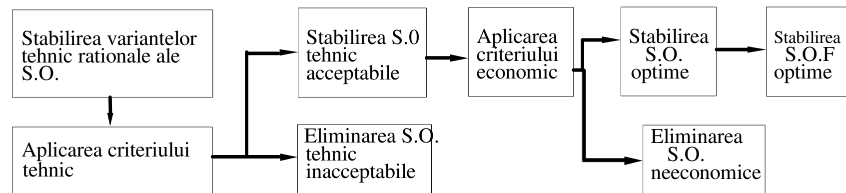


Fig. 8.99. Etapele stabilirii schemei de orientare şi fixare optime a semifabricatului în vederea prelucrării.

De exemplu, la prelucrarea canalului pe piesa din figura 8.100, cotele $b^{(Tb)}$, $c^{(Tc)}$ şi perpendicularitatea canalului pe axa de simetrie a piesei sunt determinante în stabilirea schemei de orientare, cota $a^{(Ta)}$ neluându-se în considerare (deoarece este determinată de lățimea frezei). Planele de referință necesare orientării sunt S_1, S_2 şi S_3. Respectarea condiției $b^{(Tb)}$ se obține aşezând semifabricatul pe suprafața S_1, folosind reazeme fixe sau plăcuțe de reazem fixe, cu preluarea a trei grade de libertate (t_x, r_x, r_y). Pentru asigurarea condiției $c^{(Tc)}$ se impune ca axa Oz să nu-şi modifice poziția la orientarea semifabricatului în dispozitiv. Axa Oz fiind imaginară, se materializează folosind dornuri scurte rigide [1], conuri scurte mobile [2] sau mecanisme autocentrante [3]. În toate cazurile se preiau două grade de libertate (t_x şi t_y). Perpendicularitatea canalului pe planul de simetrie S_2 se obține asigurând poziția corectă, întotdeauna aceeaşi,a acestui plan. Pentru realizarea acestei condiții este necesar să se definească planul S_2, ca fiind determinat de dreapta Oz şi un punct P exterior ei, simetric plasat față de conturul exterior al piesei. Poziția punctului P se obține folosind ghidaj cu joc funcțional [5], prismă

Tabelul 8.2. *Câteva din cele mai des utilizate elemente de orientare a semifabricatelor*

Nr. crt.	Denumirea poziționării	Simbolizarea convențională	Elemente de dispozitive definite de simbol	Nr.grad libertate anulat	Natura gradului anulat	Tipul bazei
0	1	2	3	4	5	6
1	Orientarea pe o suprafață plană, folosind reazeme fixe.		Cepuri de reazem, Plăcuțe de reazem	3	2 r+1 t	Bază de așezare
				2	1r+1 t	Bază de ghidare
				1	1 t	Bază de sprijin
2	Orientarea pe o suprafață plană, folosind reazem mobil.		Cepuri de reazem, Plăcuțe de reazem mobile	1	1 r	Bază de sprijin
3	Orientarea pe două suprafețe plane lungi cu joc funcțional.		Ghidaj lateral lung, Pană lungă	2	1r+1 t	Bază de ghidare
4	Orientarea pe o suprafață cilindrică lungă, exterioară sau interioară, cu joc funcțional.		Bucșă lungă fixă, Bolț lung fix	4	2r+2 t	Bază dublă de centrare
5	Orientarea pe o suprafață cilindrică exterioară lungă, folosind reazem fix cu contur deschis.		Prismă lungă, fixă	4	2 r+2 t	Bază dublă de ghidare
6	Orientarea pe o suprafață cilindrică exterioară sau interioară lungă, folosind reazem mobil.		Mecanism autocentrant cu bucșă elastică, cu fălci, cu bucșă cu pereți subțiri	4	2r+2 t	Bază dublă de centrare
7	Orientarea pe suprafețe cilindrice scurte, folosind reazeme fixe cu contur.		Bucșă scurtă, fixă Bolț cilindric scurt fix	2	2t	Bază de centrare
8	Orientarea pe o suprafață cilindrică interioară scurtă, cu joc funcțional și de compensare.		Bolț scurt fix frezat	1	1r sau 1 t	Bază de sprijin

Tabelul 8.2. (*continuare*)

Nr. crt.	Denumirea poziționării	Simbolizarea convențională	Elemente de dispozitive definite de simbol	Nr.grad libertate anulat	Natura grad. anulat	Tipul bazei
0	1	2	3	4	5	6
9	Orientarea pe suprafețe conice lungi, fără joc funcțional.		Bucșă conică fixă lungă, Con exterior fix lung	5	$2r+3t$	Bază dublă de centrare și bază de sprijin
10	Orientarea pe suprafețe conice, folosind reazem mobil.		Bucșă conică lungă mobilă, Con lung mobil	4	$2r+2t$	Bază dublă de centrare
11	Orientarea pe suprafețe conice scurte, folosind reazeme fixe.		Bucșă conică scurtă, Con exterior scurt fix	3	$3t$	Bază de centrare și sprijin
12	Orientarea pe o suprafață sferică exterioară, fără joc.		Reazem conic fix, Reazem conic mobil	3 sau 2	$3t$ $2t$	Bază de centrare și sprijin Bază de centrare
13	Orientarea pe suprafețe cilindrice canelate lungi.		Ax canelat lung, Bucșă canelată lungă	5	$3r+2t$	Bază dublă de centrare și bază de sprijin
14	Orientarea pe suprafețe cilindrice canelate scurte.		Bucșă canelată scurtă, Ax canelat scurt	3	$1r+2t$	Bază de centrare și bază de sprijin
15	Orientarea pe suprafețe conice canelate lungi.		Ax conic canelat lung, Bucșă canelată conică scurtă	5	$2t+3r$	Bază dublă de centrare și bază dublă de sprijin
16	Orientarea pe suprafețe conice canelate scurte.		Ax conic canelat scurt, Bucșă conică canelată scurtă	4	$1r+3t$	Bază de centrare și bază dublă de sprijin

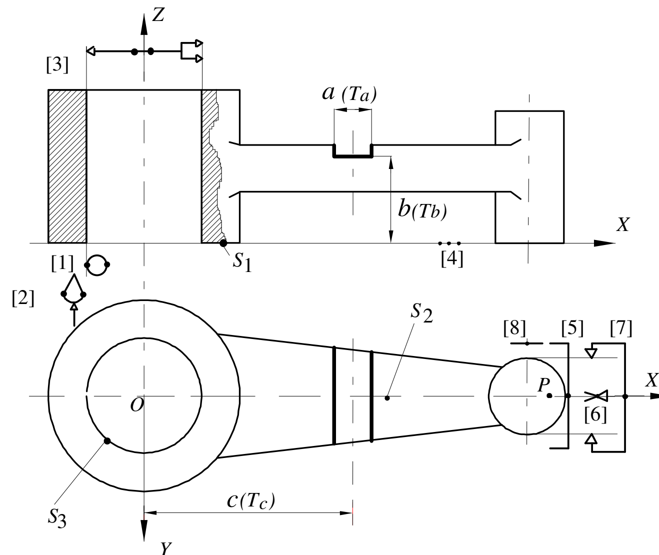


Fig. 8.100. Scheme de orientare posibile pentru prelucrarea canalului piesei din figură.

Tabelul 8.3. *Scheme de orientare posibile la prelucrarea canalului piesei din figura 8.100*

Nr. schemă	Extremul I axa *OZ*			Extremul II suprafața S_1	Extremul III punct *P*			
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
1	×			×	×			
2	×			×		×		
3	×			×			×	
4	×			×				×
5		×		×	×			
6		×		×		×		
7		×		×			×	
8		×		×				×
9			×	×	×			
10			×	×		×		
11			×	×			×	
12			×	×				×

mobilă [6], mecanism autocentrant cu fălci [7] sau reazem lateral fix [8].

După ce se alcătuieşte tabloul cu toate schemele de orientare posibile (tab. 8.2), se aplică criteriul tehnic de selectare a schemelor, calculându-se pentru fiecare

condiție determinantă valoarea erorilor de orientare. O variantă de orientare corespunde din punct de vedere tehnic (al preciziei de prelucrare) la o cotă *c*, dacă diferența dintre toleranța la cota *c*, notată T_c şi precizia medie economică de prelucrare care poate fi realizată la cota respectivă ω_c (specifică fiecărui procedeu de prelucrare), este mai mare decât *eroarea de orientare* $\varepsilon(c)$, care apare la cota *c* în varianta respectivă, adică:

$$T_c - \omega_c > \varepsilon\,(c)\,. \qquad (8.93)$$

În urma acestor calcule, rămân în atenție numai schemele care asigură *precizia de orientare* necesară prelucrării, numite *scheme de orientare tehnic acceptate.* În următoarea fază de optimizare, schemele de orientare tehnic acceptabile sunt selectate pe baza unui criteriu economic, care ia în considerare: condițiile în care are loc fabricarea, costul dispozitivului, complexitatea constructivă, dificultatea reglării, costuri de întreținere; productivitatea pe care o asigură, condiții de funcționare, gradul de adaptabilitate la schimbările de produs, fiabilitatea, şi siguranța în funcționare.

După stabilirea schemei optime de orientare a semifabricatului în dispozitiv se stabileşte schema de fixare, obținându-se astfel prin suprapunere, schema optimă de orientare şi fixare a semifabricatului.

8.5.3. Fixarea semifabricatelor în dispozitive

Prin fixare se întelege aplicarea asupra semifabricatului, introdus în dispozitiv, a unui sistem de forțe astfel construit încât să realizeze:

- schema de orientare corespunzătoare prelucrării;
- menținerea poziției respective în tot timpul prelucrării.

Forțele care solicită semifabricatul în timpul prinderii în dispozitiv şi a prelucrării propriu-zise sunt prezentate schematic în figura 8.101.

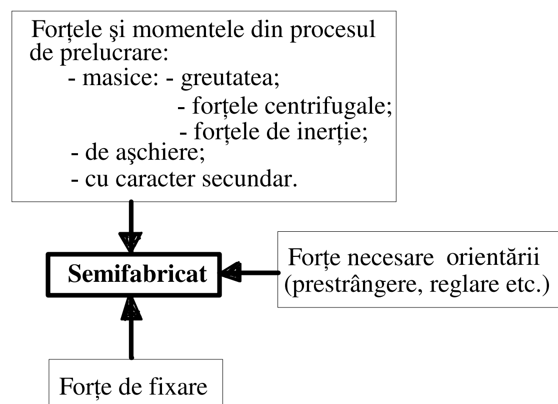


Fig. 8.101. Solicitările semifabricatului în timpul prinderii în dispozitiv în vederea prelucrării.

8.5.3.1. Forțele şi momentele din procesul de prelucrare

Semifabricatul în dispozitiv este solicitat de mai multe forțe care diferă de la o fază la alta a procesului de aşchiere şi anume:

1. *Forțele şi momentele de aşchiere*, cu caracter variabil atât în regimuri tranzitorii, corespunzătoare timpilor t_p şi t_0 (la angajarea şi degajarea sculei din aşchie), cât şi în timpul t_l când sistemul tehnologic lucrează la parametrii tehnologici (fig. 8.102);

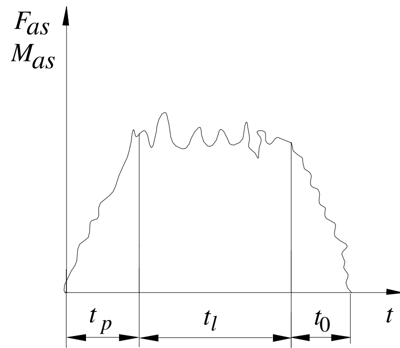


Fig.8.102. Evoluția forțelor de aşchiere şi a momentelor de aşchiere în procesul de prelucrare.

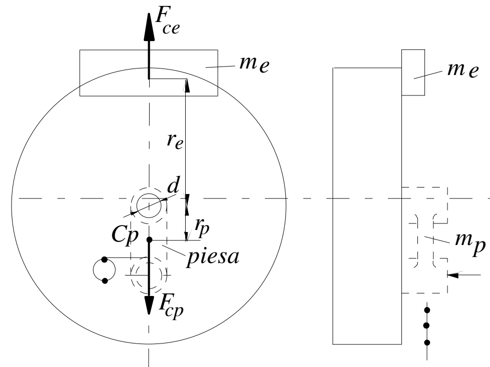


Fig.8.103. Schemă pentru determinarea masei de echilibrare m_e; C_p – centrul de greutate al piesei; m_p – masa piesei;

2. *Forțele şi momentele masice:*

- *greutatea G a semifabricatului* acționează în toate fazele de lucru, în centrul său de greutate având direcția şi sensul accelerației gravitaționale g:

$$G = m_p \cdot g \quad , \tag{8.94}$$

în care m_p este masa semifabricatului, în kg.

- *forțele centrifugale* apar atunci când centrul de greutate nu coincide cu axa de rotație.

Masa elementului de echilibrare m_e se determină egalând forțele centrifugale dezvoltate de semifabricat F_{cp} şi de elementul de echilibrare F_{ce}, când acestea se rotesc cu viteza unghiulară ω (fig.8.103), adică:

$$F_{cp} = m_p \cdot r_p \cdot \omega^2 = F_{ce} = m_e \cdot r_e \cdot \omega^2 \quad , \tag{8.95}$$

de unde rezultă:

$$m_e = m_p \cdot \frac{r_p}{r_e} \quad , \tag{8.96}$$

în care r_p este distanța de la axa de rotație a piesei la centrul de greutate al piesei; r_e - distanța de la axa de rotație a piesei la centrul de greutate al masei elementelor de echilibrare m_e.

3. *Forțele și momentele de inerție* trebuie luate în considerare la proiectarea sistemelor de fixare. Pentru semifabricatele aflate în miscare de rotație apar momentele de inerție M_i de forma:

$$M_i = I \cdot \frac{\mathrm{d}^2\varphi}{\mathrm{d}t^2} = I \cdot \varepsilon = I \cdot \frac{\omega}{t} = I \cdot \frac{\pi n}{30} \cdot \frac{1}{t} \quad , \tag{8.97}$$

iar pentru semifabricatele în mişcare rectilinie-alternativă apar forțele de inerție de forma:

$$F_i = m \cdot a = \frac{G}{g} \cdot a = \frac{G}{g} \cdot \frac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}t} = \frac{G}{g} \cdot \frac{V}{t} \quad , \tag{8.98}$$

în care G este greutatea semifabricatului; $\omega = \mathrm{d}^2\varphi/\mathrm{d}t^2$ este accelerația unghiulară; I - momentul de inerție față de axa de rotație; n - turația; t - timpul; $a = \mathrm{d}V/\mathrm{d}t$ este accelerația mişcării alternative; V - viteza maximă a semifabricatului.

4. *Forțele și momentele cu caracter secundar* nu solicită prea mult semifabricatul. În această categorie intră:

- forțele care apar la retragerea sculelor (a burgielor);
- forțele datorate tensiunilor termice;
- forțele de frecare şi rezistențele diferite (frecarea semifabricat-aer, semifabricat-vârf fix etc.).

8.5.3.2. Forțele necesare orientării semifabricatului

Se aplică asupra semifabricatului cu scopul de a asigura poziția corectă pe reazeme astfel încât la aplicarea strângerii principale acesta să fie imobilizat pe reazeme în poziția necesară. Aceste forțe se numesc *forțe de prestrângere* sau de reglare şi au valori mici. Forțele de prestrângere sunt necesare atunci când forțele G sau componentele N, T nu pot asigura contactul dintre toate bazele de orientare şi reazeme (fig. 8.104). Ele se simbolizează cu săgeți goale şi se aplică de cele mai multe ori manual. Pentru a preveni eventualele erori, prestrângerea se face cu mecanisme speciale (reazeme mobile, şuruburi, plunjere, pene), care aplică forțele de prestrângere într-o anumită ordine.

8.5.3.3. Forțele de fixare (de strângere)

Se aplică semifabricatului prin mecanismul de fixare, după ce acesta a fost orientat în dispozitiv prin aplicarea eventuală a forțelor de prestrângere (reglare). Forțele de fixare au întotdeauna sensul către reazeme şi sunt aplicate, de obicei, perpendicular pe suprafețele reazemelor pentru a nu da componente care să deplaseze semifabricatul de pe reazeme.

Alegerea punctelor de aplicaţie a acestor forţe se face pe baza mai multor considerente:

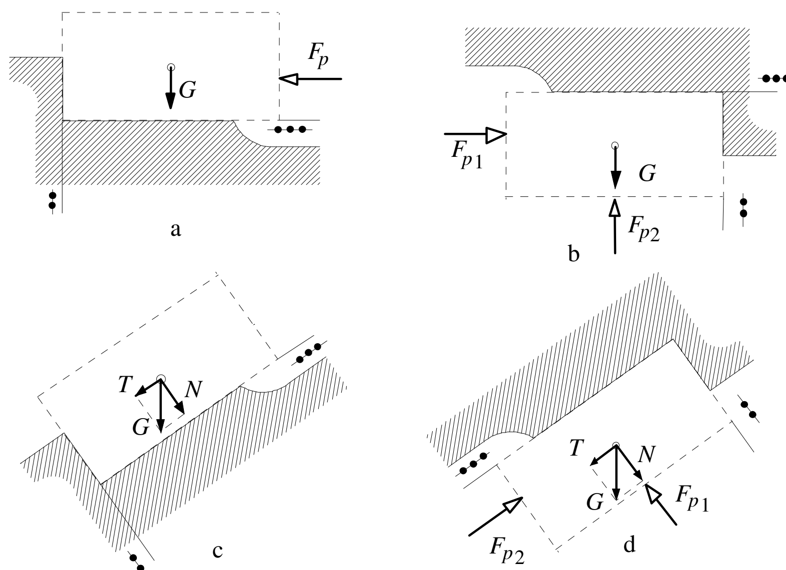


Fig. 8.104. Modul de aplicare a forţelor de prestrângere (reglare):
a – cazul când greutatea *G* a piesei este perpendiculară şi în direcţia bazei de aşezare; b – cazul când greutatea *G* a piesei este perpendiculară şi în sens contrar bazei de aşezare; c; d - cazul când greutatea *G* a piesei este orientată înclinat faţă de bazele de aşezare; F_p; F_{p1}; F_{p2} – forţele de prestrângere.

- deformaţiile semifabricatului şi reazemelor să fie cât mai mici.Aceasta impune ca forţa sau rezultantele forţelor să fie aplicate în centrul de greutate al ariei de contact al semifabricatului cu reazemele (fig. 8.105. a). Efectul este similar dacă se aplică forţele de strângere S_1 şi S_2;

- punctele de aplicaţie a forţelor de strângere să nu fie în zonele cu rigiditate scăzută. Aplicând forţa de strângere *S* în zona de rigiditate scăzută (fig. 8.105. b_1), alezajele vor rezulta cu o abatere $\Delta\alpha$ de la perpendicularitate. Eliminarea acestui neajuns se face aplicând forţele de strângere S_1 şi S_2 având aceeaşi rezultantă (fig. 8.105. b_2);

- direcţia forţelor de strângere să fie totdeauna către reazemul care preia cele mai multe grade de libertate. Astfel, dacă forţa de strângere *S* se aplică spre reazemul frontal (fig. 8.105. c_1), semifabricatul se va ridica de pe prismă afectând precizia cotei *b*. Eliminarea acestui neajuns se face aplicând forţa *S* perpendicular pe prismă (fig. 8.105. c_2).

- punctele de aplicaţie ale forţelor de strângere trebuie astfel alese încât să nu împiedice prelucrarea suprafeţelor în operaţia respectivă.

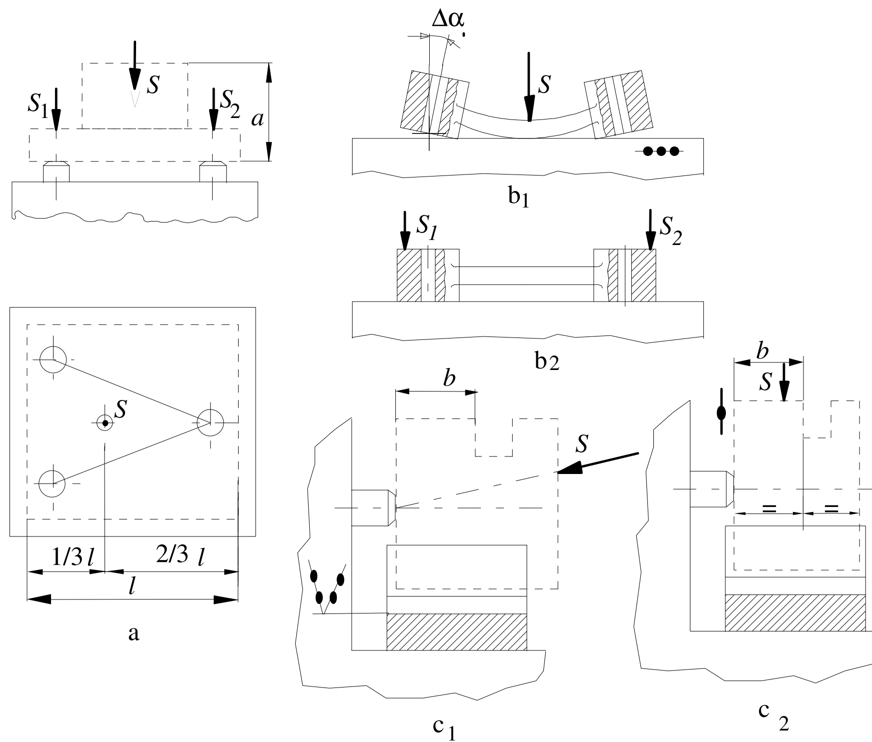


Fig. 8.105. Criterii de alegere a schemelor de fixarea :
a – aplicarea forței de strângere în centrul de greutate; b - aplicarea forței de strângere în zonele de rigiditate ridicată ; c - aplicarea forței de strângere catre reazemul care preia cele mai multe grade de libertate .

Mărimea forței de strângere rezultă întotdeauna dintr-o ecuație de echilibru a forțelor de strângere şi a celor care solicită semifabricatul în timpul procesului de prelucrare, ecuație obținută în ipoteza că semifabricatul trebuie să *rămână în echilibru pe reazeme.* Determinarea forței de strângere se face pornind de la ipoteza că semifabricatul rezemat pe elementele de orientare, poate pierde echilibrul în trei moduri posibile:

- *prin răsturnare în jurul unor reazeme*, caz în care forța de strângere *S* rezultă din ecuația de moment în jurul dreptei față de care apare răsturnarea. Astfel, forța $F_{aş}$ tinde să răstoarne semifabricatul în jurul punctului O, de aceea forța de strângere *S* se determină din ecuația de echilibru a momentelor în jurul lui O (fig. 8.106):

$$F_{as} \cdot a - SR_1 = 0 \quad , \tag{8.99}$$

din care rezultă:

$$S = F_{as} \cdot \frac{a}{R_1} \quad ; \qquad (8.100)$$

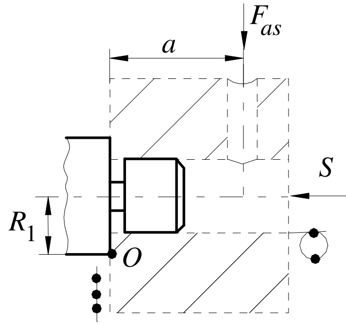


Fig. 8.106. Schemă de calcul a forței de strângere la găurire.

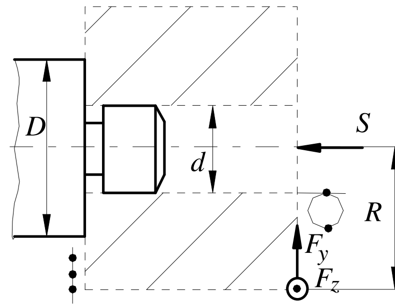


Fig. 8.107. Schema de calcul a forței de strângere la strunjire.

- *prin alunecare liniară pe reazeme*, caz în care forța de strângere rezultă dintr-o ecuație de proiecție a forțelor care lucrează asupra semifabricatului şi a celor de frecare. Astfel, forța F_z (fig. 8.107) tinde să rotească piesa pe dorn. Momentul de frecare care apare pe suprafața inelară plană ca urmare a aplicării forței de strângere S se opune scoaterii piesei din echilibru. Din ecuația de moment față de axa de rotație a semifabricatului rezultă:

$$\frac{1}{3} S\mu \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} - F_z R = 0 \quad , \qquad (8.101)$$

de unde rezultă:

$$S = F_z \frac{R}{\frac{1}{3}\mu \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2}} \quad , \qquad (8.102)$$

în care μ este coeficientul de frecare dintre semifabricat şi reazem.

- *prin alunecare unghiulară*, caz în care forțele de strângere rezultă dintr-o ecuație de momente date de forțele care lucrează asupra semifabricatului şi forțele de strângere.

Cazurile tipice de strângere ale semifabricatelor sunt legate de variantele de orientare. Deoarece forțele de strângere se aplică spre reazemele care leagă cele mai multe grade de libertate, rezultă că sunt frecvente strângerile pe o suprafață cilindrică şi cele pe o suprafață plană întinsă.

În cazul strângerii pe suprafețe cilindrice (fig. 8.108) fără rezemare axială, pierderea echilibrului poate avea loc în două moduri:

- *prin alunecare în jurul axei,* provocată de forța F_x, caz în care se obține:

$$S = \frac{F_x}{\mu} \quad ; \tag{8.103}$$

- *prin rotire în jurul axei*, cauzată de forța F_z, caz în care forța de strângere rezultă din ecuatia:

$$F_z \frac{d}{2} - \mu S \frac{D}{2} = 0 \Rightarrow S = F_z \frac{d}{\mu D} \quad . \tag{8.104}$$

În cazul în care semifabricatul este rezemat axial rămâne posibilă doar rotirea în jurul axei.

În cazul strângerii pe suprafețe plane este posibilă pierderea echilibrului semifabricatului prin toate modurile menționate mai sus. De exemplu, pentru a freza un canal la un semifabricat rezemat frontal pe o suprafață plană și pe un dorn (fig. 8.109), forța de strângere S_1 va rezulta din analiza forțelor ce acționează în procesul de așchiere și efectele lor:

- componenta F_a este preluată direct de reazem;
- componenta F_r este preluată de bolț;
- componenta F_t tinde să rotească piesa pe bolț cu un moment maxim. Efectul acestei forțe se preia prin frecarea dintre semifabricat și reazem, prin strângerea cu două forțe S_1. Scriind ecuația de echilibru față de axă:

$$F_t \frac{D}{2} - 2S_1\mu \frac{1}{3}\frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} = 0 \quad , \tag{8.105}$$

rezultă forța de strângere S_1 (μ este coeficientul de frecare semifabricat-reazem interior):

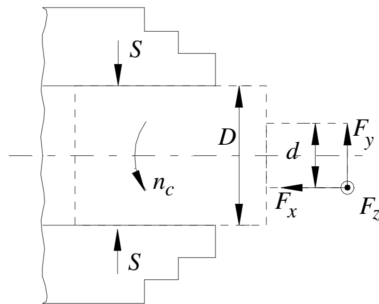


Fig. 8.108. Strângerea pe o suprafață cilindrică.

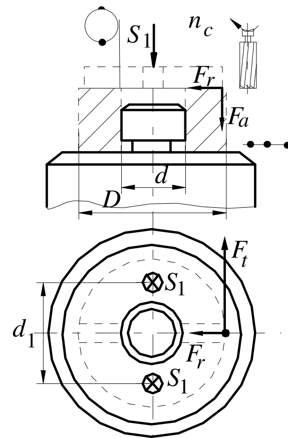


Fig. 8.109. Strângerea pe o suprafață plană.

$$S_1 = F_t \frac{3D}{4\mu} \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} \quad . \tag{8.106}$$

La aplicarea forţlor de strângere va trebui să se ţină seama şi de faptul că semifabricatele se deformează elastic, apar deformaţii de contact cu reazemele şi chiar deformaţii ale reazemelor. După desfacerea semifabricatului din dispozitiv, aceste deformaţii dispar, şi suprafeţele prelucrate prezintă abateri dimensionale, de formă sau de poziţie numite *erori de strângere*. Aceste erori se diminuează esenţial prin aplicarea forţelor de strângere pe direcţii cu rigiditatea ridicată sau prin aplicarea unor forţe cât mai uniform distribuite pe suprafaţele de strângere.

8.5.4. Sistemele de acţionare a mecanismelor de fixare a dispozitivelor

În funcţie de modul cum este aplicată forţa de fixare sau de centrare şi fixare, dispozitivele pot fi: cu *acţionare manuală* şi cu *acţionare mecanizată.*

Acţionarea manuală se utilizează în cazul fixărilor individuale, când forţele de fixare sunt mici, frecvenţa fixărilor este mică, când nu se impun condiţii deosebite de precizie şi când productivitatea nu este o cerinţă imperioasă.

Acţionarea mecanizată se utilizează în cazul dispozitivelor cu mai multe locuri de fixare, când forţele de fixare sunt mari, când frecvenţa fixărilor este ridicată, când se impun precizii ridicate şi când se cere creşterea productivităţii prelucrării.

Acţionarea mecanizată este specifică producţiei de serie mare şi de masă. În funcţie de natura energiei utilizate, acţionarea mecanizată poate fi: *pneumatică, hidraulică, pneumo-hidraulică, mecano-hidraulică, mecanică, electromagnetică, cu vacuum, magnetică* etc.

8.5.4.1. Acţionarea pneumatică

Forţa de acţionare în acest caz este realizată de aerul comprimat, ce apasă asupra pistoanelor sau membranelor unor *motoare pneumatice*. Aerul comprimat este furnizat de staţii centrale de compresoare şi este distribuit în reţele de presiune de 4...5 daN/cm^2.

Schema generală de principiu a unei instalaţii pneumatice de acţionare a mecanismelor de fixare se prezintă în figura 8.110.

Aerul comprimat de la compresorul central trece în rezervorul de aer 1, care are rolul de a crea o rezervă de aer pentru situaţia când intră simultan în funcţionare mai mulţi consumatori. Fiecare post de lucru este conectat la conducta centrală 12, cu ajutorul robinetului de trecere 2, care are şi rolul de a deconecta dispozitivul pe perioadele afectate reparaţiilor, reglajelor etc. Prin robinetul 2 aerul comprimat este dirijat către filtrul 3, în care aerul este purificat şi uscat, ajungând astfel la regulatorul de presiune 4, care permite reglarea şi menţinerea unei presiuni constante în cilindrii pneumatici, presiune care este indicată de manometrul 5. De

la regulatorul de presiune, aerul comprimat trece prin ungătorul 6, care introduce în aer picături fine de ulei, pentru a evita oxidarea elementelor instalației și pentru a lubrefia elementele în mișcare. Releul de presiune 7 are rolul de a deconecta automat motorul electric al mașinii-unelte, în cazul când presiunea din rețea scade brusc sub valoarea presinii normale de lucru, pentru a evita desprinderea piesei din dispozitiv. În camerele *A* și *B* ale cilindrului pneumatic 11, aerul este dirijat succesiv cu ajutorul distribuitorului 9, reglarea debitului de aer comprimat și, deci, a vitezei pistonului făcându-se cu ajutorul unor regulatoare de viteză (drosele) 10. Între motorul pneumatic 11 și semifabricatul orientat pe reazemele 13, în unele cazuri, se introduc elemente și mecanisme care amplifică foțele de strângere sau le schimbă direcția, sensul, uneori asigurând condiții de autoblocare. Forța F_a dezvoltată de tija motorului pneumatic se calculează cu relația:

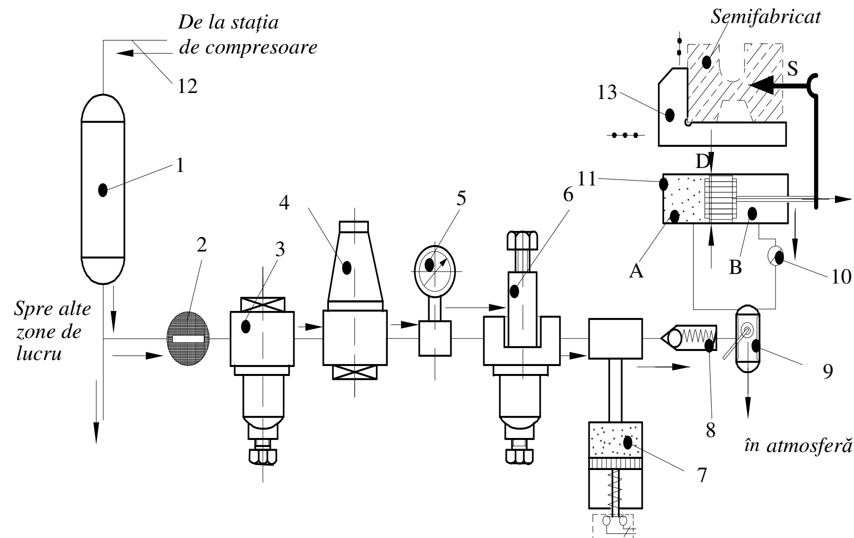


Fig. 8.110. Schema generală a unei instalații pneumatice de acționare a mecanismelor de fixare a dispozitivelor:
1 - rezervor de aer; 2 - robinet de trecere; 3 - filtru de aer; 4 - regulator de presiune; 5 - manometru; 6 - ungător; 7 - releu de presiune; 8 - supapă de sens unic; 9 - distribuitor; 10 - drosel; 11 - motor pneumatic; 12 - conducta centrală de aer comprimat; 13 - dispozitiv de orientare; A; B - camerele cilindrului pneumatic.

$$F_a = p_a \frac{\pi D^2}{4} - F_f \quad [\text{daN}] , \qquad (8.107)$$

în care p_a este presiunea aerului comprimat; F_f - forța consumată pentru învingerea frecărilor.

Acționarea pneumatică prezintă o serie de avantaje:

- permite reducerea de 5...10 ori a timpilor auxiliari necesari pentru strângerea şi desfacerea semifabricatelor, deci conduce la creşterea productivităţii;

- reduce de 10...15 ori efortul depus de operator;

- permite realizarea unor forţe de strângere constante în tot timpul prelucrării;

- poate fi uşor automatizată;

- aerul comprimat folosit în cilindrii pneumatici poate fi reutilizat la alte operaţii (curăţire de aşchii, scoaterea semifabricatului din dispozitiv etc.).

8.5.4.2. Acţionarea hidraulică

Acţionarea hidraulică este caracterizată prin aceea că forţa de strângere-desfacere este realizată de către uleiul sub presiune care apasă asupra pistoanelor unor motoare hidraulice (hidrostatice). Instalaţiile hidraulice folosite pentru acţionarea dispozitivelor pot fi: *individuale* - realizează alimentarea unui singur motor hidraulic şi *de grup* – realizează alimentarea simultană a unui număr mare de motoare hidraulice, astfel încât să asigure acţionarea tuturor dispozitivelor dintr-un atelier sau secţie.

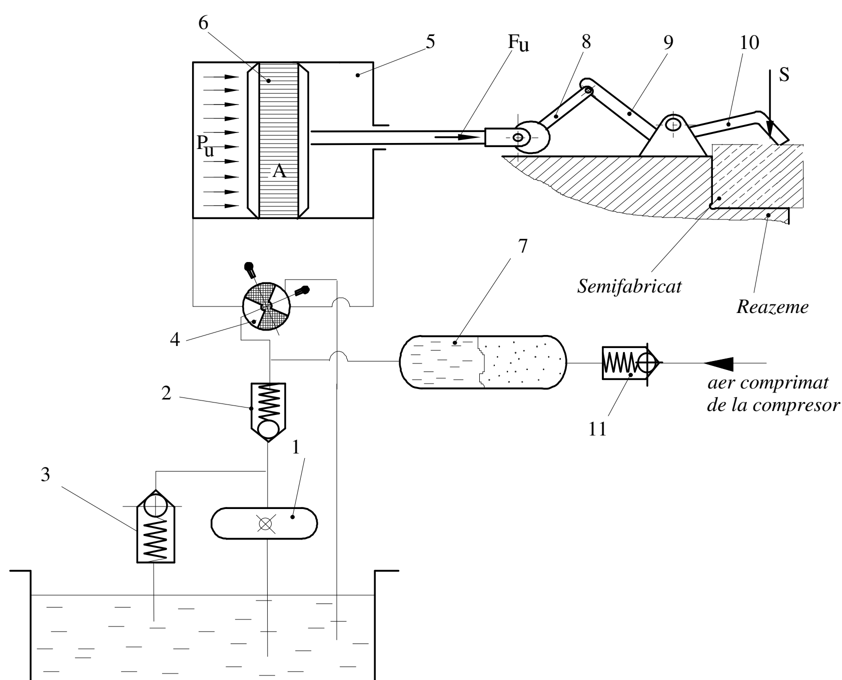


Fig. 8.111. Schema de principiu a unei instalaţii de acţionare hidraulică a dispozitivelor:
1 - pompă; 2, 3 - supape de sens unic; 4 - distribuitor; 5 - cilindru hidraulic; 6 - piston; 7 - acumulator pneumohidraulic; 8; 9; 10 - pârghii de acţionare; 11 - supapă de sens unic.

Schema de principiu a unei instalații individuale pentru acționarea hidraulică a dispozitivelor este prezentată în figura 8.111. Pompa 1, cu debit constant, aspiră uleiul din rezervor şi-l refulează prin supapa de sens unic 2 şi distribuitorul 4, la cilindrul 5, în care funcționează pistonul 6, care deplasându-se acționează sistemul de pârghii 8, 9 şi 10, realizând strângerea semifabricatului pe reazeme. Când presiunea în instalație depăşeşte valoarea presiunii de lucru, intră în funcțiune supapa de siguranță 3, care readuce uleiul în rezervor. Pentru a compensa pierderile de ulei din instalație în timpul opririi pompei, instalația poate fi prevăzută cu acumulatorul hidraulic 7, cu amplificatoare sau relee de presiune.

Forța realizată de motorul hidraulic F_u se calculează cu relația:

$$F_u = p_u \cdot \frac{Q_t}{n} \cdot \frac{t}{h_u} \eta_v \cdot 10^4 \quad [\text{daN}] \ , \qquad (8.108)$$

în care: p_u este presiunea de lucru în instalație, în daN / cm^2; h_u - cursa utilă, în mm; t - timpul necesar strângerii semifabricatului, în min; η_v - randamentul volumetric, care ține seama de pierderile de ulei prin neetanşeități (η_v =0,8...0,85); n - numărul motoarelor hidraulice alimentate simultan; Q_t - debitul total refulat de pompă, în *l*.

Acționarea hidraulică prezintă o serie de avantaje față de acționarea pneumatică, astfel:

- uleiul se foloseşte la presiuni de lucru ridicate (20...100 bar), fapt ce permite obținerea de forțe mari, cu motoare de gabarite reduse;
- reducerea gabaritului motoarelor conduce la reducerea gabaritului dispozitivelor şi deci la creşterea rigidității sistemului tehnologic;
- fluidul utilizat fiind uleiul mineral se reduce foarte mult uzura şi deci creşte durata de expolatare a întregii aparaturi;
- motoarele fiind puternice şi compacte se pretează mai bine la acționarea dispozitivelor rotitoare folosite la strunguri, maşini de rectificat rotund etc.;
- consum redus de energie electrică, deoarece motorul de antrenare a pompei instalației poate lucra numai în timpul strângerii.

Prezintă şi dezavantaje legate de costul ridicat al instalațiilor de acționare hidraulică şi de dificutățile întreținerii acestora.

8.5.4.3. Acționarea pneumo-hidrostatică

Acționarea pneumo-hidrostatică se poate utiliza rațional în producția de serie, la strângerea unor semifabricate de dimensiuni mari, grele, care se prelucrează cu regimuri de aşchiere intensive şi a căror strângere, cu forțe relativ mari, trebuie făcută în mai multe puncte. La acționarea pneumo-hidrostatică presiunile ridicate din circuitele hidrostatice se obțin cu ajutorul energiei aerului. Schema de principiu a unei acționări pneumo-hidrostatice se prezintă în figura 8.112.

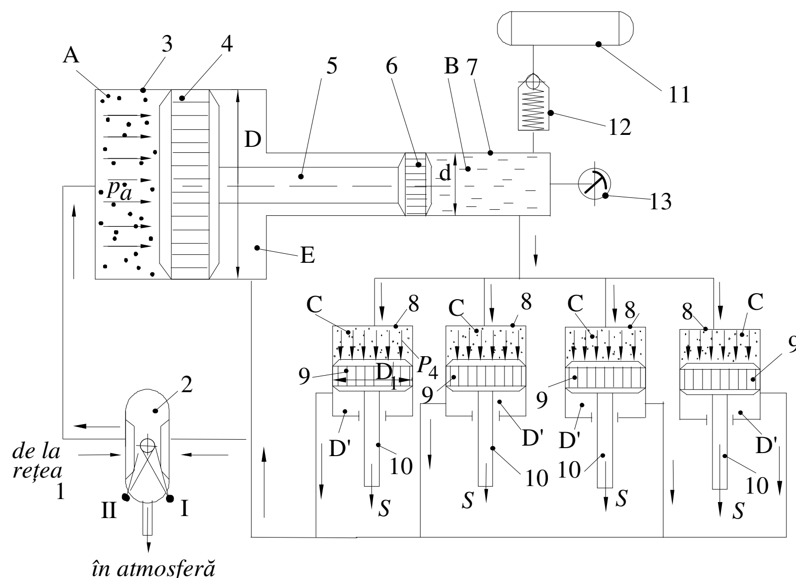


Fig. 8.112. Schema de principiu a unei instalații de acționare pneumo-hidrostatică a dispozitivelor: 1- conducta centrală de aer comprimat; 2 - distribuitor; 3 - cilindru pneumatic; 4 – piston mare ; 5 - tijă; 6 – piston mic ; 7 - cilindru hidraulic; 8 - motoare hidraulice; 9 - pistoane; 10 - tije de strângere; 11 - rezervor de ulei; 12 – supapă de sens unic; 13 - manometru de ulei.

Aerul de la instalația pneumatică este dirijat de distribuitorul 2 în cavitatea A a cilindrului pneumatic 3. Sub acțiunea aerului comprimat, pistonul 4 solidar cu tija 5 deplasează pistonul 6 în camera B a cilindrului hidraulic 7. Uleiul din camera *B* este deplasat sub presiune în camerele C ale motoarelor hidraulice 8, acționând pistoanele 9 şi tijele 10, creând forțele de strângere *S* asupra semifabricatului sau semifabricatelor. Prin manevrarea distribuitorului 2 în poziția II, aerul este dirijat simultan în camerele D′ ale motoarelor 8 şi camera E a cilindrului 3, realizând desfacerea semifabricatului şi readucerea sistemului în poziție inițială. În acelaşi timp, uleiul din cavitățile C este readus în cavitatea B a cilindrului 7. Scăpările de ulei prin neetanşeități se compensează automat, prin trecerea unei cantități echivalente de ulei din rezervorul 11 prin supapa de sens unic 12. Pentru controlul presiunii în circuitul hidrostatic se utilizează manometrul 13.

Relația dintre presiunea uleiului p_u şi presiunea aerului p_a este dată de expresia:

$$p_u = p_a \left(\frac{D}{d}\right)^2 \eta \ \ [\text{daN/cm}^2] \ , \qquad (8.109)$$

în care η este randamentul mecanic (η = 0,85...0,9); *D* - diametrul cilindrului pneumatic; *d* - diametrul cilindrului hidraulic. Cum amplificatoarele se construiesc

obişnuit cu raportul D/d = 4...5, iar presiunea aerului utilizat în mod curent este p_a = 4 daN / cm^2, rezultă că în circuitul hidrostatic se poate obține o presiune a uleiului p_u = 55...90 daN / cm^2 . Forța de strângere se calculează cu relația:

$$S = F_a \left(\frac{D_1}{d} \right)^2 \eta \quad , \tag{8.110}$$

în care F_a este forța creată de presiunea aerului în cilindrul pneumatic 3.

Acționarea pneumo-hidrostatică îmbină avantajele acționării pneumatice cu cele ale acționării hidraulice.

8.5.4.4. Acționarea prin vacuum

Are la bază crearea vidului între suprafețele de reazem ale semifabricatului şi cavitățile închise prevăzute în dispozitiv.

Instalația acționării prin vacuum are la bază o pompă de producere a vidului şi este în majoritatea cazurilor individuală, în sensul că acționează un singur loc de muncă (dispozitivele de pe o singură maşină-unealtă).

Schema de principiu a unei instalații de acționare prin vacuum a dispozitivelor se prezintă în figura 8.113.

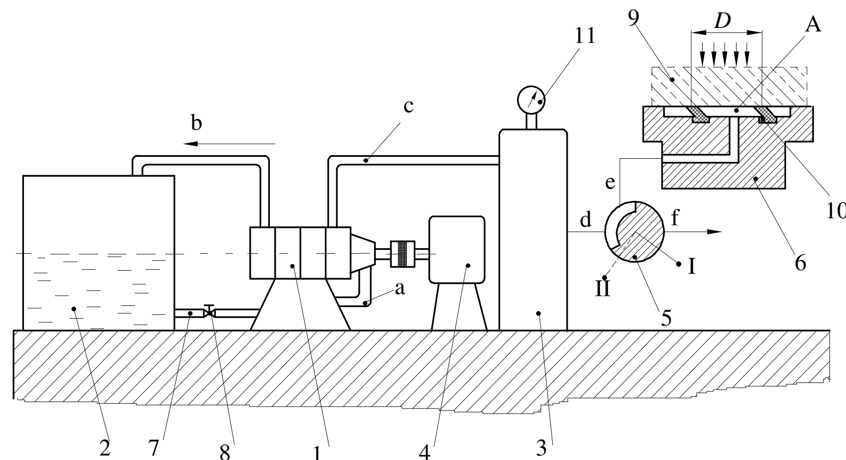


Fig. 8.113. Schema de principiu a unei instalații de acționare prin vacuum a dispozitivelor: 1 - pompa de vid; 2 - rezervor apă; 3 - recipient etanş; 4 - electromotor; 5 - distribuitor; 6 - dispozitiv de orientare - fixare; 7 - conducte; 8 - robinet; 9 - piesa - semifabricat; 10 - sistem de etanşare; 11 - vacumetru; a, b, c, d, e, f - conducte; A - cameră vacuumatică.

Instalația se compune din pompa de vid 1, cu etanşare prin inel, apoi un rezervor de apă 2, în care nivelul apei trebuie să fie la nivelul axei rotorului pompei, un recipient etanş 3, electromotorul 4, distribuitorul 5 şi dispozitivul de

lucru 6. La antrenarea rotorului pompei de către electromotorul 4, apa din pompă, venită prin conductele 7 la deschiderea robinetului 8, este centrifugată spre exterior şi împinsă prin conducta b în rezervor. Prin centrifugarea apei către exterior, la interior se creează vacuum. În acelaşi timp se creează vacuum în conducta c şi în recipientul etanş 3, iar prin distribuitorul 5 (pe poziția I) se face acelaşi vacuum şi în camera A a dispozitivului 6, realizând strângerea piesei 9. Vacuumul realizat se citeşte la vacumetrul 11. Prin comutarea distribuitorului pe poziția II se obturează conducta *d* spre pompă, şi camera A se pune în legătură cu atmosfera prin conducta *f*, realizându-se desfacerea uşoară a piesei. O importanță deosebită prezintă sistemul de etanşare 10, prin care se realizează vacuumul. Forța de strângere *S* care apasă piesa pe reazem se calculează cu relația:

$$S = k \cdot p_d \cdot A \quad [\text{daN}] \;, \tag{8.111}$$

în care p_d este diferența între presiunea atmosferică şi vacuumul realizat, exprimat în bar; *A* - aria delimitată de garnitura de etanşare pe care se realizează vacuumul; *k* - coeficient ce ține seama de pierderile prin neetanşare (k = 0,75...0,8).

Acționarea prin vacuum prezintă o serie de avantaje:

- se poate utiliza şi la piesele construite din materiale nemagnetice (neferoase, mase plastice etc);

- strângerea se realizează cu forțe uniform distribuite, neexistând pericolul strivirii locale (table de aluminiu, de cupru etc.);

- dispozitivele sunt foarte simple, deoarece nu au mecanisme de strângere;

- timpul consumat cu strângerea şi desfacerea pieselor este la fel ca la acționarea pneumatică şi hidraulică.

Prezintă dezavantajul realizării sistemului de etanşare.

8.5.4.5. Acționarea magnetică şi electromagnetică

Strângerea magnetică si electromagnetică se realizează de catre fluxul magnetic produs de magneții permanenți şi respectiv de electromagneți.

Magneții sau electromagneții sunt asamblați în dispozitive, în care fluxul magnetic este dirijat în aşa fel încât să treacă prin piesa de strâns. Dispozitivele acționate magnetic se construiesc, de regulă, sub formă de platouri (mese) sau mandrine şi se utilizează, în general, pentru prinderea semifabricatelor din materiale feromagnetice, la prelucrări de finisare cu regimuri uşoare de lucru, pe maşini de rectificat plan, maşini de rectificat rotund, maşini de frezat, strunguri, maşini pentru sculărie şi pentru macanică fină. Schema constructiv-funcțională a unui platou magnetic se prezintă în figura 8.114. Piesa-semifabricat 1 se aşează pe placa superioară 2, din oțel moale, în care sunt montate şi miezurile 3, din oțel, izolate cu ajutorul unor garnituri din materiale nemagnetice 4 (aliaje de cupru sau unele mase plastice). Între placa superioară 2 şi placa inferioară 5 sunt cuprinşi mai mulți electromagneți sau magneți permanenți 6, dispuşi la pasul polar *p*. Ținând

seama de polaritatea electromagneților și de prezența pieselor diamagnetice, circuitul magnetic se închide obligatoriu prin piesa-semifabricat, creând o forță de tragere a acesteia către placa de reazem.

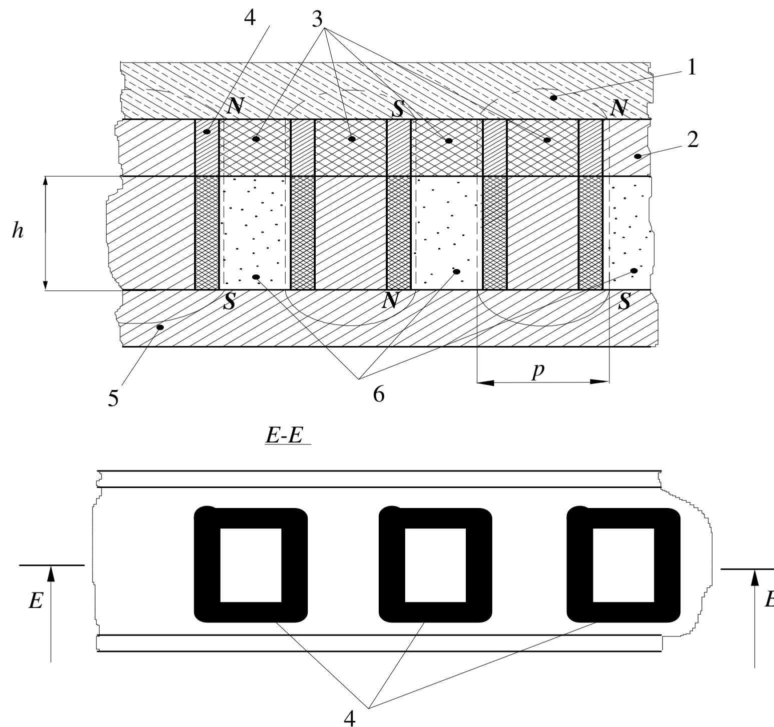


Fig. 8.114. Schema de principiu a platourilor (urechilor) magnetice:
1 - piesa - semifabricat; 2 - placa superioară; 3 - miezuri; 4 - garnituri de izolare din materiale nemagnetice; 5 - placa inferioară; 6 - magneți permanenți; *p* - pas polar.

Mărimea forței de strângere *S* depinde de suprafața prin care se încheie circuitul magnetic *A* și de măimea inductiei câmpului magnetic, creat de magneții, respectiv de electromagneții *B* și se calculează cu relația:

$$S = 4 \cdot B^2 \cdot A \cdot 10^{-8} \quad [\text{daN}] \quad . \qquad (8.112)$$

Acționarea magnetică și electromagnetică prezintă o serie de avantaje ca:
- asigură fixarea pieselor de prelucrat fără alte elemente mecanice;
- permite realizarea de strângeri rapide și fără eforturi;
- realizează precizii mari de așezare a pieselor de prelucrat;
- realizează strângerea cu forțe uniform distribuite, care elimină pericolul deformării pieselor și deteriorării suprafețelor.

Ca dezavantaje, metoda este limitată la piese cu forme simple şi construite din materiale cu permeabilitate magnetică ridicată.

8.6. PRELUCRAREA PRIN STRUNJIRE

8.6.1. Definire. Scheme de principiu

Strunjirea este procedeul de prelucrare prin aşchiere, care se realizează prin combinarea unei mişcări principale de aşchiere, totdeauna de rotație, totdeauna executată de piesa-semifabricat, cu o mişcare de avans în direcție longitudinală, transversală, înclinată sau combinații, totdeauna executată de sculă. Strunjirea se execută cu scule cu o singură muchie aşchietoare pincipală, procesul de aşchiere desfăşurându-se continuu (fig. 8.115).

Ca urmare a combinării mişcării principale de rotație a piesei-semifabricat cu mişcările de avans longitudinal, transversal, înclinat sau chiar curbiliniu (cu dispozitive adecvate) ale sculei, se pot genera cele mai diferite suprafețe: de rotație cilindrice şi conice (exterioare şi interioare), plane, elicoidale, spirale, sferice, poligonale etc. (fig.8.116).

8.6.2. Generarea suprafețelor prin strunjire

La prelucrarea prin strunjire generatoarea *G* poate fi realizată prin toate procedeele cunoscute:

- *ca generatoare materializată* - în cazul prelucrării cu cuțite profilate (fig. 8.117. a) a suprafețelor de revoluție, cu cuțite laterale (fig. 8.117. b) a suprafețelor plane, a suprafețelor conice scurte (fig. 8.117. c), cu scule ce au materializată generatoarea G_E prin muchia aşchietoare. Această metodă se aplică în cazul supra fețelor de lungime mică, în cazul producției de serie mare sau masă. Metoda

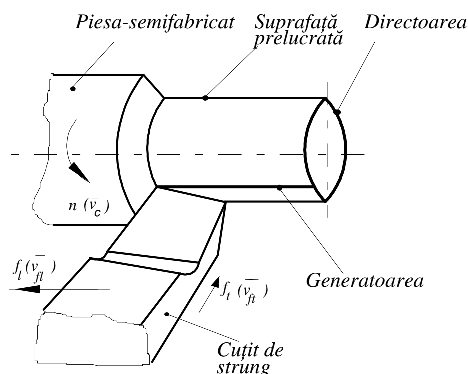


Fig. 8.115. Schema de principiu a procedeului de strunjire.

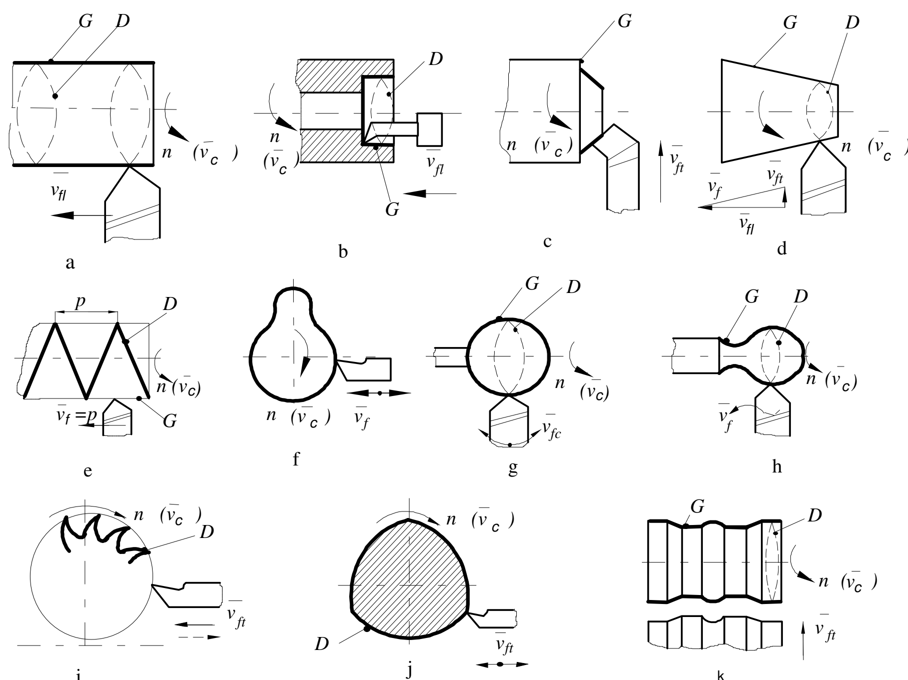


Fig. 8.116. Câteva tipuri de suprafeţe obţinute prin strunjire:
a - cilindrice exterioare; b - cilindrice interioare; c - plane; d - conice; e - elicoidale; f - excentrice; g - sferice; h - complexe; i - detalonate; j - poligonale; k - profilate.

prezintă ca dezavantaj principal apariţia vibraţiilor în sistemul tehnologic, datorită lungimii mari a tăişului în contact cu suprafaţa de aşchiere;

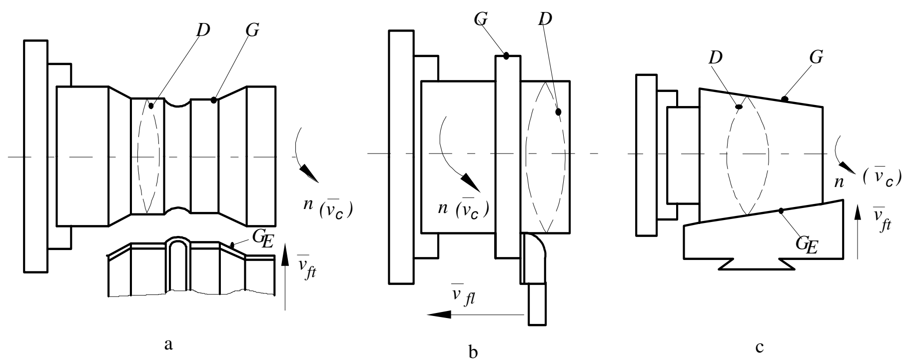


Fig. 8.117. Generarea suprafeţelor prin strunjire cu generatoare materializată:
a - în cazul suprafeţelor profilate scurte; b - în cazul suprafeţelor laterale; c - în cazul suprafeţelor conice scurte;

- *ca generatoare cinematică* - în cazul prelucrării suprafeţelor cilindrice interioare sau exterioare de lungime mare (fig. 8.118. a) , a suprafeţelor conice de lungime mare (fig. 8.118. b), a suprafeţelor sferice de diferite diametre (fig. 8.118. c).

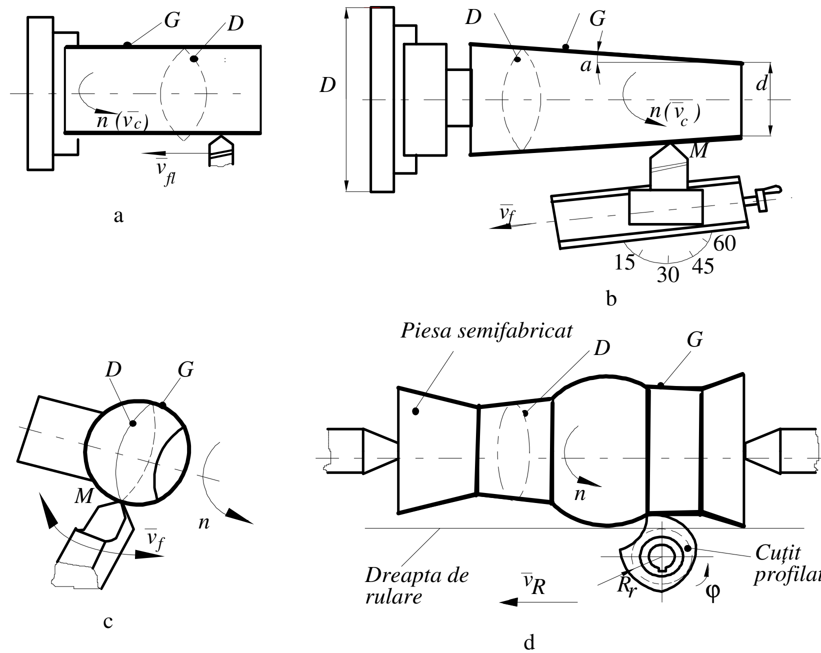


Fig. 8.118. Generarea suprafeţelor prin strunjire cu generatoare cinematică: a - în cazul suprafeţelor cilindrice exterioare sau interioare de lungime mare; b - în cazulsuprafeţelor conice de lungime mare; c - în cazul suprafeţelor sferice; d - în cazul suprafeţelor profilate de lungime mare.

În aceste cazuri generatoarea se realizează ca traiectorie a vârfului *M* al sculei aşchietoare. Pentru piese de revoluţie complicate, de lungime mare, generatoarea poate fi realizată ca înfăşurătoare a poziţiilor succesive ale unei scule profilate corespunzător. Este cazul strunjirii cu cuţite rotative (fig. 8.118. d), când generatoarea se obţine ca înfăşurătoare a poziţiilor succesive ale muchiei aşchietoare a sculei în mişcarea relativă dintre sculă şi semifabricat.În acest scop scula execută o mişcare de rulare v_R, fără alunecare pe dreapta de rulare, respectându-se în permanenţă condiţia:

$$v_R = R_r \cdot \varphi \quad , \tag{8.113}$$

în care R_r este raza de rulare a sculei; φ - unghiul de rotaţie al sculei în jurul axei proprii.

- *ca generatoare programată* - în cazul prelucrării suprafețelor de revoluție complexe de lungime mare. În acest caz se foloseşte un program ce materializează generatoarea suprafeței de prelucrat (fig.8.119). Generatoarea G_s materializată pe şablonul 1 este citită de sesizorul 2 care transmite informația la căruciorul 3 al strungului, care va efectua simultan cu mişcarea de avans longitudinal v_{fl} şi o mişcare de avans transversal v_{ft} de mărime variabilă.

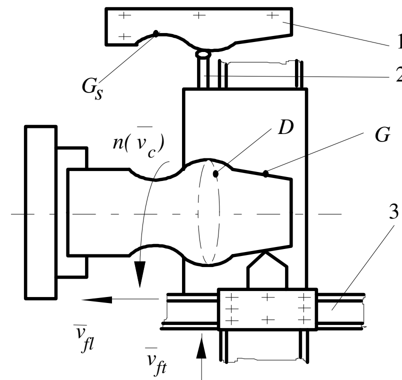


Fig. 8.119. Generarea suprafețelor prin strunjire generatoare programată:
1 - port-program; 2 - dispozitiv cu senzori de urmărire; 3 - cărucior cu suportul port-cuțit.

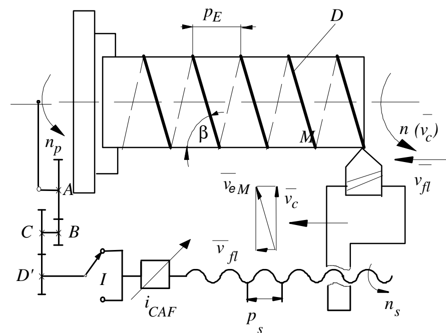


Fig. 8.120. Generarea suprafețelor prin strunjire cu directoarea cinematică elicoidală:
A, B, C, D′ - roți dințate; p_s - pasul şurubului conducat; p_E – pasul elicei filetului;
D – directoarea elicoidală;

În majoritatea cazurilor de generare a suprafețelor prin strunjire, directoarea este circulară (fig. 8.117 şi fig. 8.119) sau elicoidală (fig. 8.120), obținută pe cale cinematică, ca traiectorie a unui punct. Realizarea directoarei elicoidale cilindrice se obține atunci când mişcarea de rotație a semifabricatului este corelată cu mişcarea de deplasare axială, cu viteza v_{fl} a vârfului sculei, punctul *M* descriind o elice cilindrică de pas constant p_E. În acest fel, viteza de aşchiere va fi tangentă la elicea cilindrului de rază corespunzătoare punctului *M*. Prin schimbarea vitezei axiale v_{fl}, cu inversorul I, se poate realiza directoarea elicoidală *D* atât pe stânga, cât şi pe dreapta.

Realizarea directoarei spirale (de regulă spirală arhimedică) se obține prin corelarea mişcării de rotație a semifabricatului cu cea de translație a sculei, folosind un lanț cinematic de forma prezentată în figura 8.121. Corelarea celor două mişcări se face prin intermediul camei K, al cărei profil este urmărit în permanență de sania SPU pe care este fixată scula S. Un punct oarecare *M* al muchiei aşchietoare, descrie o spirală arhimedică. Revenirea saniei port-cuțit se face sub acțiunea unui resort R, după terminarea cursei camei. Acest procedeu de generare se întâlneşte la prelucrarea filetelor plane şi a suprafețelor de aşezare ale frezelor profilate detalonate.

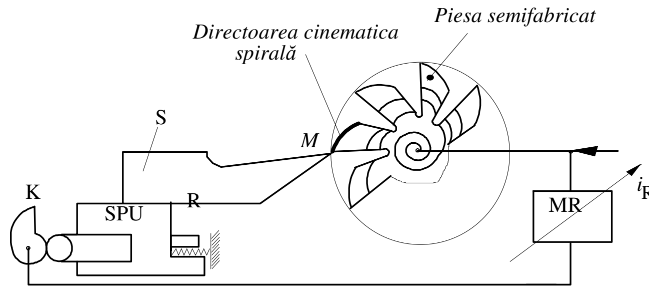


Fig. 8.121. Generarea suprafețelor prin strunjire cu directoarea cinematică spirală: K - camă; SPU - sanie pentru urmărire; S - scula aşchietoare; R - resort.

Camele, arborii cu came, arborii poligonali etc. necesită utilizarea unor directoare diferite de cele circulare, directoare care nu se pot realiza decât prin programare. Realizarea directoarei programate se face utilizând o camă *K* (fig. 8.122), ce se roteşte asincron cu arborele principal al strungului pe care este fixat

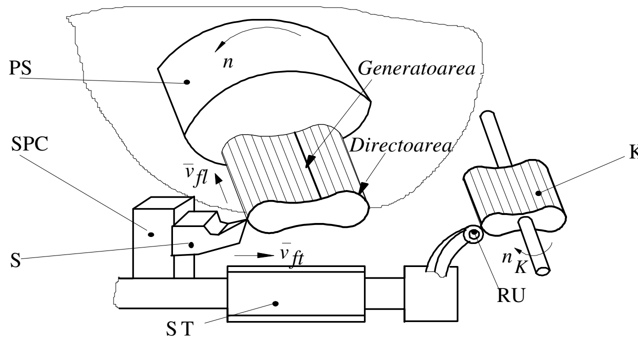


Fig. 8.122. Generarea suprafețelor prin strunjire cu directoare programată: K - camă; PS - piesa - semifabricat; RU - rolă de urmărire; ST - sania transversală; S - scula aşchietoare; SPC - suport port-cuțit.

semifabricatul PS. Profilui camei K este urmărit de rola de urmărire RU, fixată pe sania transversală ST a strungului, eliberată de şurubul conducător. Scula S, fixată pe suportul port-cuțit SPC şi respectiv căruciorul strungului, va executa mişcarea de avans, descriind generatoarea suprafeței.

8.6.3. Geometria sculelor aşchietoare. Tipuri de scule folosite la strunjire

Parametrii geometrici ai unui cuțit de strung au fost prezentați în paragraful 8.3, defnirea lor făcându-se în figurile 8.24, 8.25 şi 8.26.

Principalele tipuri de cuțite folosite la prelucrările prin strunjire, clasificate după operația la care sunt utilizate, sunt (fig. 8.123): cuțite *drepte pentru degroşare* (fig. 8.123. a); cuțite *încovoiate pentru degroşare* (fig. 8.123. b); cuțite *de colț* pentru prelucrarea zonelor greu accesibile (fig.8.123. c); cuțite *lamă* pentru retezat (fig.8.123. d); cuțite *late pentru finisat* (fig. 8.123. e); cuțit *drept pentru finisare*

(fig. 8.123. f); cuţit *pentru degroşat interior* (fig. 8.123. g); cuţit *pentru colţ interior* (fig. 8.123. h); cuţit *pentru degajare interioară* (fig. 8.123. i); cuţit *pentru finisat interior* (fig. 8.123 j); cuţite *pentru filetat* (fig. 8.123. k); cuţite *disc profilate* (fig. 8.123. l) sau *prismatic profilate*.

Din punct de vedere constructiv, cuţitele de strung se pot clasifica în *cuţite monobloc* şi *cuţite armate cu plăcuţe din carburi metalice*. Plăcuţele din carburi metalice pot fi lipite (brazate) sau prinse mecanic.

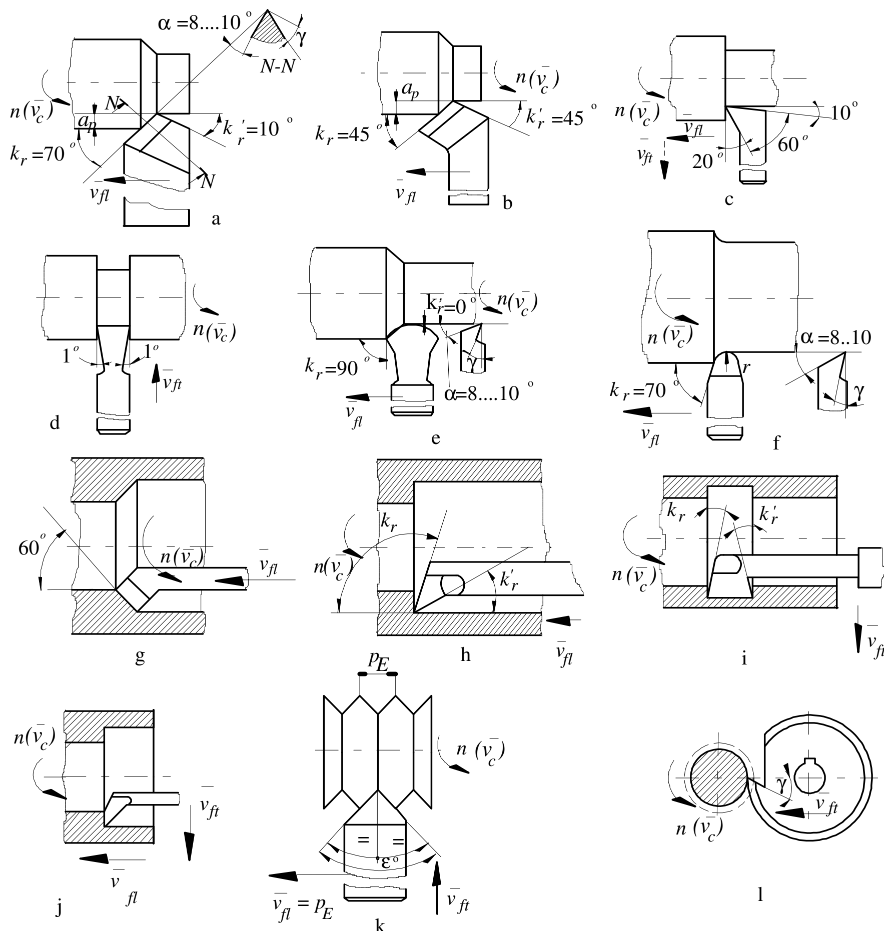


Fig. 8.123. Principalele tipuri de cuţite folosite la prelucrarea prin strunjire:
a - cuţit drept pentru degroşare; b - cuţit încovoiat pentru degroşare; c - cuţit de colţ; d - cuţit lamă pentru retezat; e - cuţit lat pentru finisat; f - cuţit drept pentru finisat; g - cuţit pentru degroşat interior; h - cuţit de colţ interior; i - cutit pentru degajare interioară; j - cuţit pentru finisat interior; k - cuţit de filetat; l - cuţit disc profilat.

8.6.4. Maşini-unelte şi dispozitive specifice la prelucrarea prin strunjire

8.6.4.1. Maşini-unelte folosite la strunjire

Maşina-unealtă pe care se execută operaţia de strunjire se numeşte strung. În funcţie de forma şi dimensiunile suprafeţelor prelucrate şi de caracterul producţiei, strungurile se construiesc într-o gamă foarte variată de forme şi tipodimensiuni.

După poziţia axei de rotaţie a arborelui principal se deosebesc: *strunguri orizontale* şi *strunguri verticale* (carusel).

După poziţia ghidajelor căruciorului faţă de direcţia axului principal se deosebesc: *strunguri longitudinale*: mişcarea de avans are loc, de obicei, paralel cu axa de rotaţie; *strunguri transversale*: mişcarea de avans are loc perpendicular pe axa de rotaţie şi *strunguri universale* (normale).

Pentru fabricaţia de serie se folosesc *strungurile revolver* (cu disc sau cu turelă), *strungurile semiautomate* şi *strungurile automate.*

În funcţie de tipul piesei de prelucrat şi natura operaţiei executate se deosebesc: *strunguri pentru arbori cotiţi; strunguri pentru axe cu came;strunguri de detalonat; strunguri pentru bandaje de roţi de cale ferată; strunguri multicuţit* etc.

Strungul normal. Este cel mai frecvent utilizat, datorită caracterului universal al destinaţiei sale. El are posibilitatea prelucrării pieselor scurte sau lungi, din bară sau din semifabricate individuale, dintr-o singură prindere din mai multe prinderi, într-o singură operaţie sau în mai multe operaţii .

Schema cinematică de principiu a strungului normal se prezintă în figura 8.124. Batiul B serveşte la fixarea maşinii pe fundaţie şi la asamblarea elementelor maşinii într-un tot unitar, preluând toate forţele ce apar în sistemul tehnologic maşină-dispozitiv-piesă-sculă. În interiorul batiului se montează instalaţia electrică de comandă şi acţionare, unele elemente ale instalaţiei de răcire-ungere a sculei şi unele părţi ale cutiei de viteze. Batiul este prevăzut la partea superioară a patului cu nişte ghidaje orizontale GB. Păpuşa fixă PF este aşezată pe batiu, adăposteşte cutia de viteze CV şi este străbătută de axul principal al strungului AP, pe care se prinde piesa de prelucrat PS. Axul principal se construieşte de regulă tubular, pentru a permite trecerea prin interiorul său a semifabricatelor bară. Păpusa mobilă PM, aşezată pe batiu, în partea opusă păpuşii fixe, serveşte la centrarea pieselor lungi între vârfuri şi la executarea găurilor axiale în piese. Căruciorul CR se deplasează pe ghidajele batiului şi serveşte la realizarea mişcărilor de avans II, III, IV ale sculelor, cu ajutorul celor trei sănii, din care este format: sania longitudinală SL, sania transversală ST şi respectiv sania port-cuţit SPC.

Mişcările necesare generării suprafeţelor se transmit conform fluxului cinematic prezentat în figura 8.125. Mişcarea principală se primeşte de la motorul electric MEA la cutia de viteze CV, unde se multiplică sau se demultiplică, până la o anumită valoare a turaţiei axului principal AP, care va executa mişcarea principa-

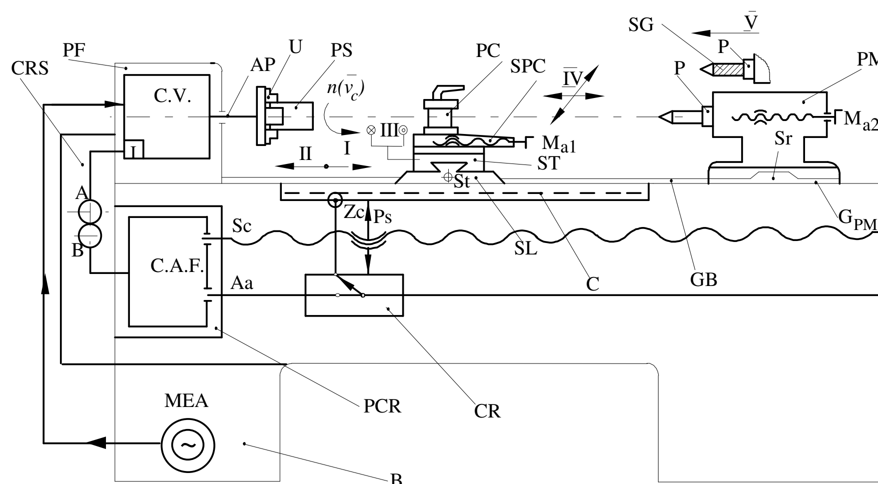


Fig. 8.124. Schema de principiu a strungului normal:
B - batiu; GB - ghidajele batiului; CR - cărucior; PCR - panou comandă şi reglare; CAF - cutie de avansuri şi filete; CV - cutie de viteze; CRS - cutia roţilor de schimb; PF - păpuşa fixă; PM - păpuşa mobilă; P - pinolă; G_{PM} - ghidajul păpuşii mobile; AP - ax principal; PS - piesa-semifabricat; PC - port-cuţit; SPC - suportul port-cuţit; ST - sania transversală; SL - sania longitudinală; A_a - bară de avansuri; SC - şurub conducător; P_S - piuliţă secţionată; C - cremalieră; Z_C - pinion; M_{a1}, M_{a2} - manete de reglare manuală; S_r - şurub reglare; U - universal de prindere; SG – sculă pentru găurire.

lă I. Mişcarea de avans se primeşte de la cutia de viteze CV prin intermediul inversorului de sens I, la roţile de schimb A/B din cutia roţilor de schimb şi este transmisă la cutia de avansuri şi filete CAF. Prin aceste elemente mişcarea se demultiplică până la o anumită turaţie a barei de avansuri Aa sau a şurubului conducător SC. De la bara avansurilor, mişcarea se preia de căruciorul CR şi se transmite fie la mecanismul de avans longitudinal, realizat cu ajutorul cremalierei fixe C, cu care angrenează roata dinţată Zc, fie la şurubul pentru avans transversal ST.

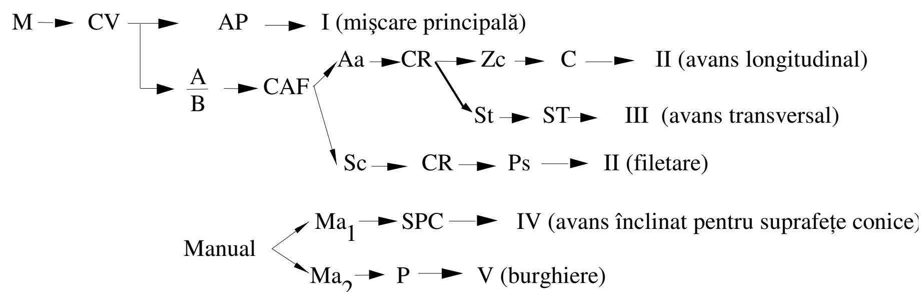


Fig. 8.125. Schema fluxului cinematic pentru strungul normal.

Pentru generarea de filete, mărimea avansului II trebuie să fie egală cu pasul filetului, pentru aceasta, mişcarea de la CAF primindu-se prin şurubul conducător SC, la piuliţa secţionată Ps. Aceasta permite cuplarea căruciorului la şurubul conducător direct, ceea ce dă posibilitatea deplasării rapide şi precise a căruciorului, cu mişcarea de avans pentru filetare.

Construcţia căruciorului permite rotaţia saniei port-cuţit cu un unghi dorit şi avansarea cuţitului în direcţia IV, înclinată fată de axa de rotaţie a piesei, putându-se executa suprafeţe conice.

În vederea burghierii, pinola P este prevăzută cu o gaură conică (de obicei con Morse) în care se poate introduce un burghiu SG. Pinolei i se poate imprima o mişcare V, în vederea executării unei găuri axiale în piesă (mişcarea principală este executată de piesă). Diversele tipuri de strunguri normale se deosebesc între ele prin dimensiunile lor caracteristice, care le diferenţiează în privinţa posibilităţilor de prelucrare: distanţa între vârfuri; diametrul maxim de prelucrare deasupra patului; diametrul maxim de prelucrare deasupra căruciorului; diametrul găurii axului principal; diametrul maxim de prelucrare cu luneta fixă şi cu cea mobilă; cursa maximă a pinolei; cursa maximă a saniei transversale; numărul treptelor de turaţie ale arborelui principal; gama avansurilor şi a filetelor realizabile etc.

Strungul frontal. Este destinat prelucrării pieselor de diametre mari şi lungime redusă (volanţi, roţi dinţate, flanşe , inele etc.). Piesa de prelucrat PS se prinde în platoul PU, care primeşte mişcarea de la o cutie de viteze CV simplă, amplasată în păpuşa fixă PF (fig 8.126). Piesa realizează mişcarea principală I, iar cuţitul mişcarea de avans longitudinal II, cu ajutorul saniei longitudinale SL, care se deplasează pe nişte ghidaje GS, fixate direct pe fundaţie. Cuţitul mai poate executa mişcarea de avans transversal III, cu ajutorul saniei transversale ST şi avansul înclinat IV, cu ajutorul saniei port-cuţit SPC.

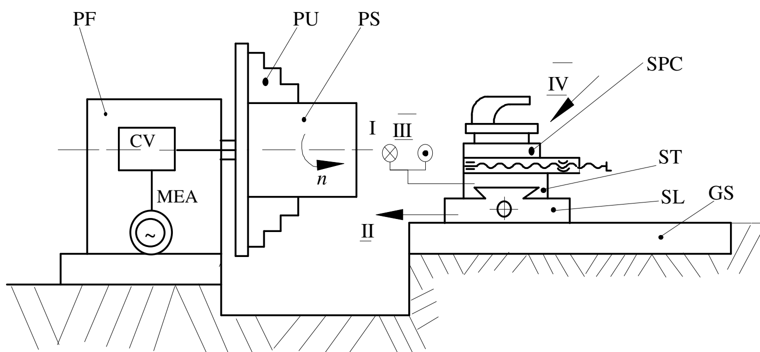


Fig. 8.126 Schema de principiu a strungului frontal:
PF - papuşa fixă; PU - platou de prindere; PS - piesa semifabricat; SPC - suport port-cuţit; ST - sania transversală; SL - sania longitudinală; GS - ghidajele strungului; CV - cutia de viteză; MEA - motor electric asincron.

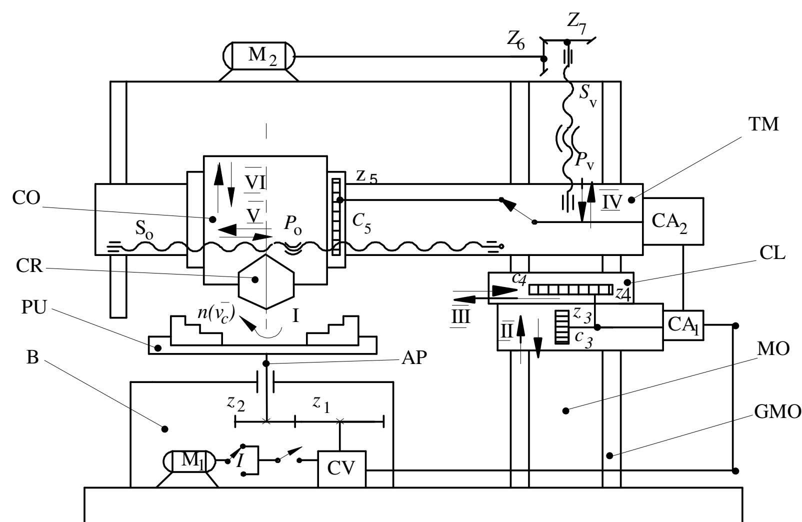


Fig. 8.127. Schema de principiu a strungului carusel:
B - batiu; PU - platou de prindere; AP - ax principal; Cr - cap revolver; CO - cărucior orizontal; CL - cărucior lateral; MO - montant; GMO – ghidejele montantului ; TM - traversa mobilă; CV - cutie de viteze; CA - cutie de avansuri; M_1; M_2 - motoare; S/P - mecanism şurub-piuliţă; z/c - mecanism pinion-cremalieră.

Strungul carusel. Are axul principal vertical, prinderea pieselor făcându-se pe un platou orizontal (fig.8.127). Strungul se compune din batiul B, platoul PU, montantul MO, traversa mobilă TM, unul sau mai multe cărucioare laterale CL şi cărucioarele verticale CO (numărul cărucioarelor este în funcţie de mărimea şi tipul strungului). Strungurile carusel pot fi cu unul sau cu doi montanţi, cu traversa fixă sau mobilă.În batiul B este montată cutia de viteze CV, ce primeşte mişcarea de la motorul M_1 , ajungând la axul principal AP prin sistemul de angrenaje z_1/z_2 (I - mişcarea principală). Căruciorul CL se poate deplasa pe verticală (II), iar sania orizontală a acestuia poate executa avansul orizontal III. Aceste mişcări se realizează de obicei cu ajutorul unor angrenaje pinion - cremalieră, z_3 - C_3 şi z_4 - C_4, cu vitezele reglate de cutia de avansuri CA_1. Traversa TM se poate deplasa pe verticală (IV), cu ajutorul motorului M_2, care acţionează un mecanism şurub - piuliţă S_v - p_v. Pe consolă este montată cutia de avansuri CA_2, care primeşte mişcarea de la cutia CV şi o transmite fie la deplasarea orizontală (V) a căruciorului CO, prin mecanismul cu şurub orizontal S_o -p_o, fie la avansul pe verticală (VI), realizat cu angrenajul pinion - cremalieră z_5 - C_5, care deplasează sania căruciorului vertical CO. Acest cărucior se poate înclina faţă de verticală. Prinderea sculelor pe cărucioare se face de obicei cu ajutorul unui cap revolver CR pe care se pot monta cinci până la opt scule, care se pot regla la cotă pentru producţia de serie. Schema fluxului cinematic este prezentată în figura 8.128.

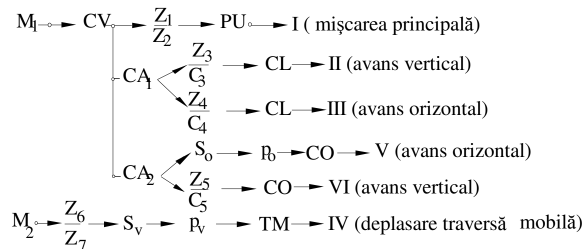


Fig. 8.128. Schema fluxului cinematic al strungului carussel.

Aceste categorii de strunguri se folosesc la prelucrarea suprafeţelor plane, cilindrice, exterioare sau interioare, conice şi a altor categorii de suprafeţe de dimensiuni mari, la piese de dimensiuni şi greutăţi mari.

Strungul revolver. Se aseamănă cu cele normale, dar îi lipseşte păpuşa mobilă. Sculele sunt montate, în ordinea lucrului lor, pe un cap revolver. După poziţia şi forma capului revolver se deosebesc: *strunguri revolver cu disc* (axa orizontală); *strunguri revolver cu turelă* (axa verticală).

Schema de principiu a unui strung revolver cu disc se prezintă în figura 8.129.

Pe batiul B, prevăzut cu ghidajele orizontale GB, există păpuşa fixă PF, în care se găsesc cutia deviteze CV şi axul principal AP, care execută mişcarea principală I. Pe ghidajele GB se poate deplasa căruciorul CR, în mişcarea de avans longitudinal II. Sculele SA se prind în capul revolver CRV, care se roteşte în vederea poziţionării sculelor (mişcarea III) sau în vederea executării diferitelor operaţii (IV), ce necesită avans transversal (canale de degajare, retezare, strunjire frontală etc). Mişcările de avans au viteze reglabile cu ajutorul unei cutii de avansuri CA, barei de avansuri Aa şi a cutiei căruciorului CCR. Lungimea cursei de lucru a fiecărei scule se stabileşte cu un sistem de opritoare O_i.

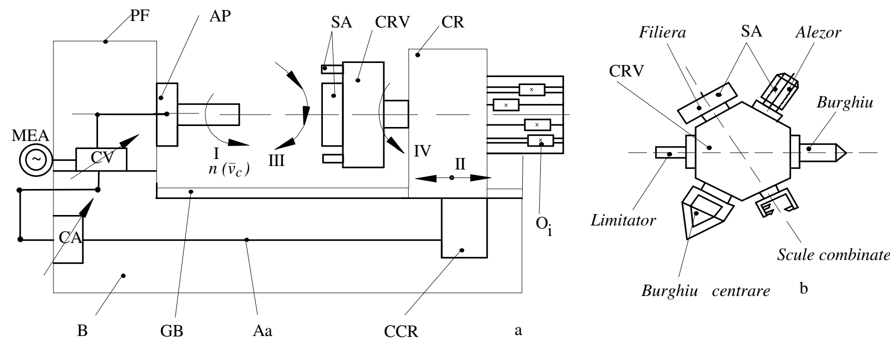


Fig.8.129. Schema de principiu a strungului revolver cu disc:
a - schema de principiu: B - batiu; GB - ghidajele batiului; Aa - bara de avansuri; PF - păpuşa fixă; AP - ax principal; CA - cutie de avansuri; CV - cutie de viteze; SA - scule aşchietoare; CRV - cap revolver; CR - cărucior; CCR - cutia căruciorului; O - opritoare; b - montarea sculelor în capul revolver.

Pe strungurile revolver se execută de obicei următoarele tipuri de operații: strunjiri cilindrice şi frontale, canelări, găuriri cu burgiul, strunjiri conice de lungimi mici, filetări cu tarozi şi filiere etc.

Strungurile semiautomate. Sunt acele strunguri la care sunt atomatizate toate lucrările, exceptând fixarea semifabricatului şi desprinderea piesei finite, care sunt comandate manual. Strungurile semiautomate se clasifică după numărul axelor în: *strunguri monoaxe* (*strungurile de tip revolver* şi *strungurile multicuțit*, figura 8.130) şi *strunguri multiaxe* (*strungurile cu prelucrare succesivă*, figura 8.131 şi *cu prelucrare continuă*).

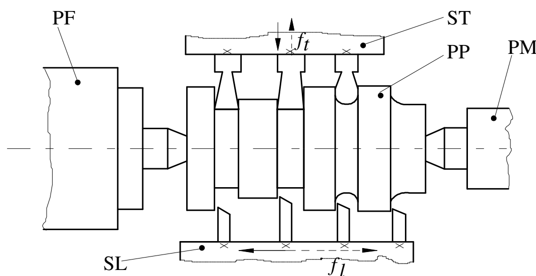


Fig. 8.130. Schema de principiu a strungului semiautomat monoax multicuțit: PP - piesa – semifabricat de prelucrat ; PF - păpuşa fixă; PM - păpuşa mobilă; SL - sania longitudinală; ST - sania transversală.

La strungul semiautomat multicuțit (fig. 8.130), piesa de prelucrat PP se prinde între păpuşa fixă PF şi păpuşa mobilă PM, iar sculele, cu ajutorul cărora se fac operațiile de prelucrare sunt prinse pe două sănii laterale, sania longitudinală SL şi sania transversală ST. Prelucrarea piesei pe acest strung se execută astfel:

- apropierea rapidă a săniilor de semifabricat;
- execuția curselor de lucru cu avansul longitudinal f_l şi transversal f_t;
- retragerea rapidă a săniilor în poziția inițială;
- oprirea strungului şi desprinderea piesei finite;
- fixarea unui nou semifabricat.

La aceste strunguri, fiecare sculă reglată în prealabil la cotă, execută o singură trecere şi prelucrează un singur element al piesei. La strungurile multiax cu prelucrare succesivă (fig. 8.131), prelucrarea piesei are loc succesiv, într-o ordine logică a operațiilor, fiecare operație executându-se la câte un post separat. Posturile de lucru PL sunt prevăzute pe o masă rotundă MS, care execută mişcarea de poziționare III, montată la baza unei coloane centrale prismatice CCP. Pe fiecare față prismatică a coloanei se găseşte o sanie port-sculă SPS, ce poate executa mişcarea de avans II, în timp ce mişcarea principală I este executată de semifabricatele prinse în dispozitivele de prindere DP, pe arborii principali. La fiecare post de lucru PL, sculele reglate la cotă execută fiecare câte o operație corespunzătoare, exceptând postul PLA, care rămâne pentru alimentarea cu semifabricate şi desprinderea pieselor prelucrate. Spre deosebire de strungul monoax, la acest strung se prelucrează mai multe piese simultan, care trec pe rând pe la fiecare din posturile de lucru.

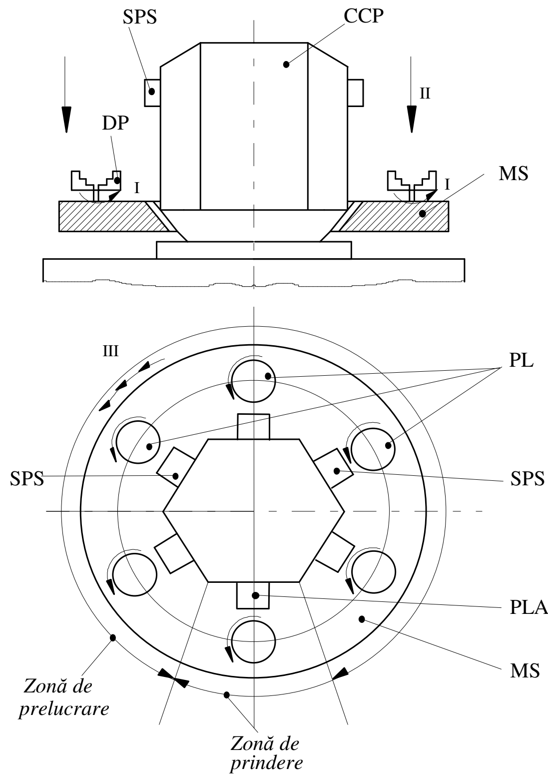


Fig. 8.131. Schema de principiu a strungului semiautomat multiax, cu prelucrare succesivă:
PL - posturi de lucru; MS - masă; CCP - coloană centrală; SPS - sănii port - scule; DP - universal de prindere; PLA - post de prindere - desprindere.

Strungurile multiax verticale cu prelucrare continuă se aseamănă cu cele multiax cu prelucrare succesivă, deosebirea constând în faptul că săniile laterale conţin toate sculele necesare tuturor prelucrărilor semifabricatului de la început până la piesa finită.

Strungurile automate. Sunt acele strunguri la care, după efectuarea reglării, prinderea semifabricatelor, prelucrarea lor şi desprinderea pieselor de pe maşină se realizează într-un ciclu automat, fără participarea operatorului.

Strungurile automate pot fi:

- *monoaxe* - strunguri revolver, strunguri de profilat şi retezat, strunguri de profilat şi strunjit longitudinal etc.;

- *multiaxe* - cu prelucrare succesivă şi cu prelucrare în paralel.

Strungurile revolver automate. Sunt acele strunguri la care toate mişcările, începând cu avansarea materialului de prelucrat până la limitator şi terminând cu îndepărtarea piesei finite, sunt automatizate. Alimentarea cu piese, avansarea materialului din bară până la limitator şi evacuarea pieselor finite se fac cu ajutorul unor mecanisme şi dispozitive prevăzute special pe strungul revolver.

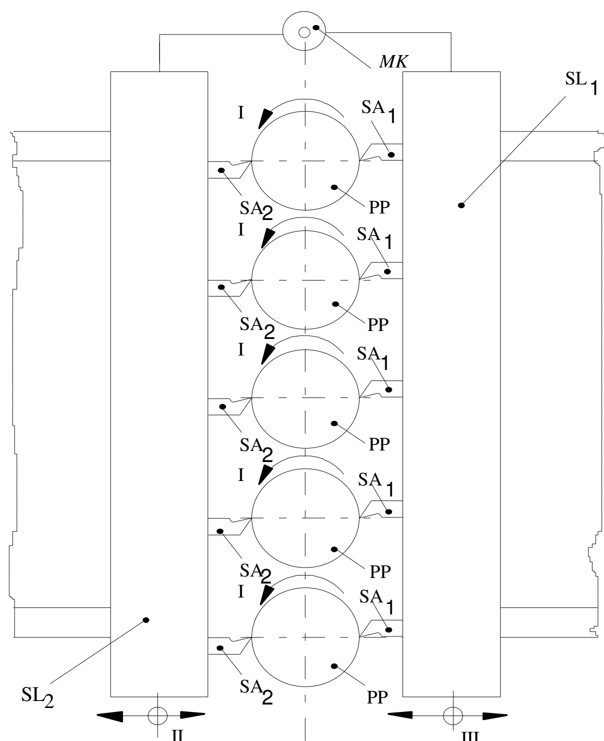


Fig. 8.132. Schema de principiu a strungului automat multiax, cu prelucrare în paralel:
PP - piesele - semifabricat;
SA_1; SA_2 - scule aşchietoare;
SL_1; SL_2 - sănii de lucru;
MK - mecanisme cu came.

Strungurile automate multiax cu prelucrare în paralel (fig. 8.132) permit prelucrarea simultană şi completă a unui număr de piese egal cu numărul de axe principale ale maşinii. Piesele-semifabricat PP execută mişcarea principală de aşchiere I, în timp ce sculele SA_1 şi SA_2 prinse perechi în două sănii execută mişcările de avans transversal II şi III. Săniile de lucru SL_1 şi SL_2 sunt acţionate prin intermediul unor mecanisme cu came MK. Aceste tipuri de strunguri se utilizează în cazul prelucrării unor piese specifice în producţia de serie mare sau de masă.

8.6.4.2. Principalele dispozitive şi accesorii folosite la strunjire

Pentru ca semifabricatul să execute mişcarea principală de rotaţie este necesar ca acesta să fie prins coaxial cu axa de rotaţie a axului principal. Se folosesc astfel o serie de dispozitive specifice ca: universalul, platoul simplu, platoul cu patru fălci, echerele de prindere, vârfurile de prindere, flanşele şi inimile de antrenare, lunetele fixe şi mobile.

Universalul. Se foloseşte pentru prinderea semifabricatelor scurte (la care raportul *L/D* <4). Se compune dintr-o carcasă cilindrică în care este introdusă o

coroană dințată conică 1, acționată de pinioanele 2 cu ajutorul unei chei de universal 3 (fig. 8.133). Prinderea piesei se face cu ajutorul unor fălci de prindere 4, care se deplasează în canalul 5 (în spirală arhimedică). La rotirea coroanei dințate 1, fălcile sunt obligate să se deplaseze simultan, radial spre exterior sau interior, permițând strângerea centrată pe interiorul S_1 sau pe exteriorul S_2, sau desprinderea piesei.

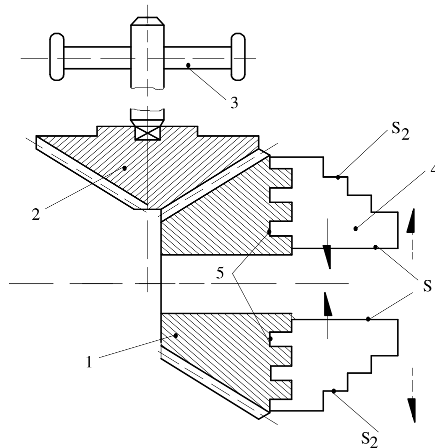


Fig. 8.133. Schema de principiu a universalului autocentrant:
1 - coroană dințată conică ; 2 - pinioane conice; 3 - cheie de universal; 4 - fălci de prindere; 5 - canale spirale; S_1, S_2 - suprafață de prindere şi fixare.

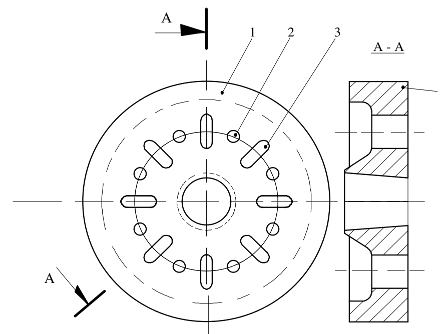


Fig. 8.134. Schema de principiu a platoului simplu:
1 - placă circulară ; 2;3 – găuri străpunse frezate.

Platoul simplu. Este o placă circulară rigidă 1, care are pe suprafața frontală executate diferite găuri străpunse frezate 2 şi 3 (fig. 8.134), care servesc la prinderea pieselor de formă complicată, cu ajutorul unor şuruburi şi bride de fixare.

Platoul cu patru fălci. Este format dintr-o placă circulară prevăzută cu patru ghidaje radiale, pe care se deplasează fălcile de prindere, acționate fiecare independent de câte un mecanism şurub-piuliță. Acest tip de platou este destinat prinderii semifabricatelor pătrate, excentrice şi a pieselor brute de forme relativ simple.

Echerele de prindere. Sunt folosite la prinderea pieselor de forma cea mai complicată. Sunt alcătuite dintr-un platou prevăzut cu găuri frezate sau canale în formă de T pe care sunt prinse două sănii ce se pot deplasa pe două ghidaje perpendiculare.

Vârfurile de centare. Se folosesc la prelucrarea pieselor de lungime mare (când $L/D \geq 4$). Vârfurile de centrare sunt prevăzute la partea de fixare cu o zonă activă 1, de formă conică, un corp cilindric 2 şi coada conică 3, în sistemul

METRIC sau MORSE (fig. 8.135. a). Forma şi dimensiunile vârfurilor de centrare sunt diferite în funcție de dimensiunile, configurația geometrică a piesei şi genul de prelucrare la care este utilizat. Se deosebesc: vârfuri de centrare cu degajare (fig. 8.135. b), vârfuri sferice (fig. 8.135. c), vârfuri inverse (fig. 8.135. d), vârfuri rotative (fig. 8.135. e) şi altele.

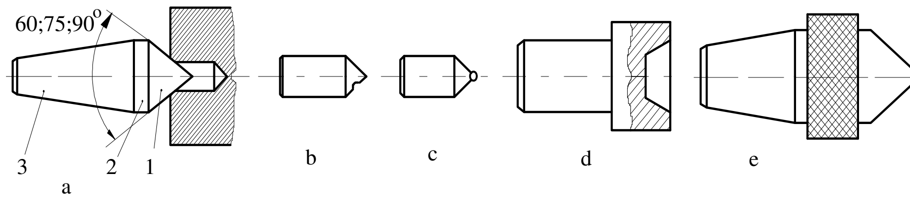


Fig. 8.135. Tipuri de vârfuri de centrare:
a - simple; b - cu degajare; c - sferice; d - inverse; e - rotative.

Flanşele şi inimile de antrenare. Se folosesc la rotirea pieselor prinse între vârfuri. Sunt mai multe tipuri constructive, dar cea mai des întrebuințată este forma din figura 8.136. Flanşa 1, prevăzută cu un manşon de protecție 2, se fixează pe exteriorul axului principal, în timp ce în conul morse al axului principal se fixează vârful de centrare 3. Semifabricatul 5 se fixează între vârful 3 şi vârful 4, fixat în păpuşa mobilă 6. La rotirea flanşei, bolțul 7 obligă să se rotească inima de antrenare 8, care este strânsă pe piesa de prelucrat cu un şurub 9.

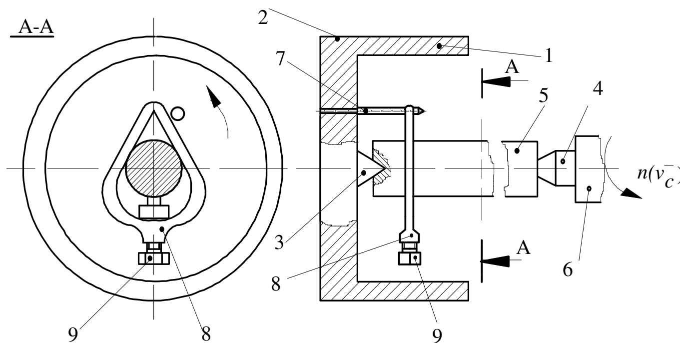


Fig. 8.136. Schema de principiu a antrenării cu flanşă şi inimă de antrenare:
1 - flanşă; 2 - manşon de protecție; 3; 4 - vârfuri de centrare; 5 - piesa - semifabricat; 6 - păpuşa mobilă; 7 - bolț; 8 - inimă de antrenare; 9 - şurub de fixare.

Lunetele fixe şi lunetele mobile. Servesc pentru prelucrarea semifabricatelor de lungime mare (când raportul L/D > 10), în vederea creşterii rigidității acestora în timpul prelucrării şi evitării apariției abaterilor de formă ale suprafețelor prelucrate. O lunetă fixă (fig. 8.137) este formată din două părți semicirculare 1 şi 2, articulate în 3, şi prinse între ele cu şurubul 9. Partea inferioară 2 se fixează de ghidajele 4 ale strungului, cu ajutorul unei bride 5, în poziția corespunzătoare. Piesa de prelucrat 6 este sprijinită în trei puncte, cu reazemele 7,

acționate de şuruburile 8. Lunetele mobile au doar două reazeme 7, rolul celui de-al treilea reazem fiind îndeplinit chiar de sculă.

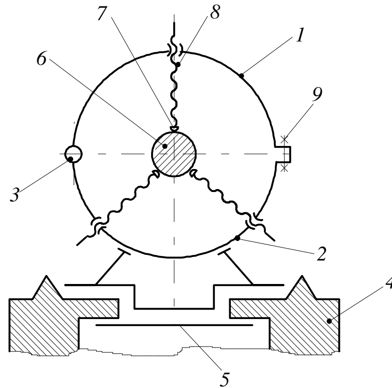


Fig. 8.137. Schema de principiu a unei lunete fixe: 1; 2 - carcase semicirculare; 3 - articulație; 4 - ghidajele strungului; 5 - bridă de fixare; 6 - piesa - semifabricat; 7 - reazeme; 8 - şuruburi de acționare; 9 - şurub de fixare.

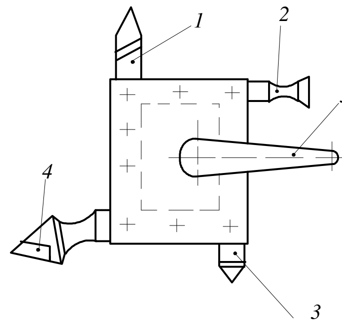


Fig. 8.138. Schema de principiu a port- -cuțitului cu patru cuțite: 1; 2; 3; 4 - scule aşchietoare; 5 -mâner de acționare.

Port–cuțitele. Sunt utilizate pentru orientarea şi prinderea corespunzătoare a cuțitelor în vederea executării corecte a suprafețelor pieselor prelucrate. Construcția lor trebuie în aşa fel concepută încât să asigure respectarea geometriei corecte a cuțitului în sistemul de referință funcțional. Cele mai des utilizate port-cuțite sunt: *port-cuțitul cu furcă*, *port-cuțitul cu bridă*, *port-cuțitul cu sănii vertical*e, *port-cuțitul cu patru cuțite*, *port-cuțitele speciale*.

Construcția port-cuțitului cu patru cuțite se prezintă în figura 8.138. Acest port-cuțit permite aducerea pe rând a patru cuțite diferite 1, 2, 3, 4 în poziția de lucru dorită, într-un plan orizontal, după ce acestea au fost prinse în poziția corectă pe verticală. Rotirea port-cuțitului în plan orizontal şi blocarea lui în poziția dorită,se face rapid, cu ajutorul mânerului 5.

Alte dispozitive. Pentru prelucrarea unor suprafețe complexe, strungurile normale sunt prevăzute uneori cu dispozitive de copiat, de strunjit sferic, dispozitive de detalonat, dispozitive de rectificat, dispozitive de găurit etc.

La strungurile revolver prinderea semifabricatelor în vederea prelucrării se face cu ajutorul unor **bucşe elastice** (pensete), iar prinderea sculelor se face cu port-scule speciale, prinse pe discul port-sculă.

8.6.5. Stabilirea condițiilor de lucru la strunjire

La stabilirea condițiilor de lucru la strunjire, trebuie avute în vedere următoarele aspecte: forma şi dimensiunile semifabricatului, precizia dimensională

şi rugozitatea suprafetei prelucrate, caracteristicile mecanice şi starea suprafeței materialului de prelucrat, natura materialului, construcția şi parametrii geometrici ai sculei aşchietoare, condițiile în care se desfăşoară procesul de aşchiere şi productivitatea prelucrării.

Principalele etape ce trebuie parcurse în vederea stabilirii condițiilor de lucru la strunjire sunt: alegerea sculei aşchietoare; stabilirea durabilității economice şi a uzurii maxim admisibile a sculei aşchietoare; stabilirea adâncimii de aşchiere şi a numărului de treceri; stabilirea avansului de aşchiere; stabilirea forțelor de aşchiere; stabilirea momentelor de aşchiere; verificarea avansului de aşchiere; stabilirea vitezei de aşchiere; stabilirea turației reale şi a vitezei reale de aşchiere; verificarea puterii de aşchiere.

8.6.5.1. Alegerea sculei aşchietoare

Se face în funcție de tipul prelucrării şi de condițiile de lucru. Pentru strunjirea exterioară, frontală, retezare, canelare, profilare etc. se aleg cuțite de strung conform STAS- urilor 6376 ...6385-80, 353 -80, 6311-80. Pentru strunjirea interioară se aleg cuțite şi bare de alezat din STAS- urile 12274 – 85,12322-85, 12323-85 şi 12382-85.

În funcție de natura şi proprietățile fizico-mecanice ale materialelor de prelucrat se alege materialul părții active a cuțitului, care poate fi: oțel carbon pentru scule, oțel rapid, oțel aliat pentru scule, carburi metalice şi mineralo-ceramice, diamante industriale.

Parametrii geometrici ai părții active a cuțitelor sunt recomandați în STAS-urile R 675-80 şi R 6781-83 sau conform ISO 3002/4.

Alegerea sculelor aşchietoare se poate face şi folosind soft-uri specializate (MAZAK, CATIA etc.).

8.6.5.2. Stabilirea durabilității economice şi a uzurii maxim admisibile a sculei aşchietoare

Durabilitatea economică se alege în funcție de dimensiunile secțiunii cuțitului, materialul părții active a cuțitului şi materialul semifabricatului, din tabele şi nomograme. Durabilitatea economică T_{ec} variază între 30 până la 120 minute. Sunt şi cuțite care au durabilitatea peste 3 000 minute.

Dacă se urmăreşte o productivitate maximă, durabilitatea T_{op} se calculează cu relația:

$$T_{op} = \frac{1-m}{m}\tau_s \quad [\text{min}] , \tag{8.114}$$

iar dacă se urmăreşte un cost minim al prelucrării, durabilitatea se calculează cu relația:

$$T_{ec} = \frac{1-m}{m}\left(\tau_s + \frac{C_2}{C_1}\right) \quad [\text{min}] \ , \qquad (8.115)$$

în care: m este exponentul durabilității; τ_s - timpul consumat cu schimbarea sculei şi reglarea maşinii-unelte, în minute; C_1 - salariul muncitorului care execută prelucrarea, în lei/min; C_2 - cheltuielile legate de exploatarea sculei, în lei şi se calculează cu relația:

$$C_2 = \tau_r \cdot C_3 + \frac{C_s}{n_s} \quad [\text{lei}] \ , \qquad (8.116)$$

în care: τ_r este timpul consumat cu reascuțirea sculei aşchietoare, în min; C_3 - salariul muncitorului de la ascuțitorie, în lei/min; C_s - costul inițial al sculei, în lei; n_s - numărul de ascuțiri permis până la scoaterea din uz a sculei.

Uzura admisibilă a cuțitelor de strung pentru degroşare şi finisare se alege din tabele, în funcție de materialul părții active a cuțitului, materialul semifabricatului şi rugozitatea prescrisă piesei.

8.6.5.3. Stabilirea adâncimii de aşchiere şi a numărului de treceri

Adâncimea de aşchiere se alege în funcție de natura operației de strunjire (de degroşare, de semifinisare sau de finisare). Adâncimea de aşchiere a_p pentru fiecare trecere se calculează cu relația:

$$a_p = \frac{A_c}{i} a_p \quad [\text{mm}] \ , \qquad (8.117)$$

în care A_c este adaosul de prelucrare calculat pe o parte (fig. 8.139); i - numărul de treceri.

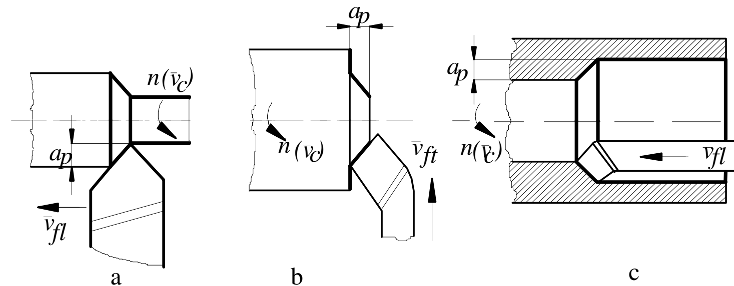


Fig. 8.139. Definirea adâncimii de aşchiere la strunjirea:
a – cilindrcă exterioară ; b – frontală ; c – cilindrică interioară.

La prelucrarea de degroşare se tinde către realizarea unei productivități maxime, alegându-se un număr cât mai mic de treceri şi adâncime de aşchiere cât

mai mare (limitată de puterea maşinii-unelte, rezistența mecanismului de avans şi momentul de torsiune admis la arborele principal). Adâncimea de aşchiere la prelucrările de finisare se alege în aşa fel încât să se poată asigura condițiile de precizie şi rugozitate impuse.

8.6.5.4. Stabilirea avansului de aşchiere

La strunjirea materialelor, valoarea avansurilor depinde de: rezistența corpului cuțitului sau plăcuței din carburi metalice, eforturile admise de mecanismele de avans ale maşinii-unelte, momentul de torsiune admis de arborele principal (pentru strunjirea de degroşare), precizia prescrisă a suprafeței prelucrate, calitatea suprafeței prelucrate (pentru strunjirea de finisare).

Rigiditatea piesei, a maşinii-unelte şi a dispozitivelor influențează alegerea avansului, atât în cazul strunjirii de degroşare, cât şi al strunjirii de finisare.

Pentru creşterea productivitații muncii se urmăreşte ca avansul să fie cât mai mare, în concordanță cu adâncimea de aşchiere, stabilită anterior şi cu restricțiile impuse.

Valorile avansurilor la strunjire se aleg din tabele sau normative, determinate pe cale experimentală.

8.6.5.5. Stabilirea forțelor de aşchiere

În timpul operației de strunjire apar o serie de forțe ce acționează asupra cuțitului şi implicit asupra materialului ce t rebuie îndepărtat (vezi capitolul 8.3, figura 8.39. a).

Forța totală de aşchiere F se calculează cu relația:

$$F = \sqrt{F_f^2 + F_p^2 + F_c^2} \quad [\text{daN}] \ , \tag{8.140}$$

în care F_c este forța principală de aşchiere (tangențială); F_p - forța de respingere (radială); F_f - forța de avans (axială). Aceste componente se calculează cu relațiile:

$$F_c = C_{F_c} a_p^{x_{F_c}} f^{y_{F_c}} k_c \ , \tag{8.141}$$

$$F_p = C_{F_p} a_p^{x_{F_c}} f^{y_{F_p}} k_p \ , \tag{8.142}$$

$$F_f = C_{F_f} a_p^{x_{F_f}} f^{y_{F_f}} k_f \ , \tag{8.143}$$

în care: C_{Fc}, C_{Fp}, C_{Ff} sunt constante de material; x_F, y_F - exponenți ce se aleg din tabele; a_p - adâncimea de aşchiere; f - avansul; k_c; k_p; k_f - coeficienți de corecție ce țin seama de starea şi natura materialului, de geometria sculei aşchietoare, uzura sculei aşchietoare, lichidul de aşchiere, de raza de la vârf a cuțitului, de viteza de aşchiere etc.

8.6.5.6. Stabilirea momentelor de aşchiere

Momentul de aşchiere M_c, se determina cu relaţia:

$$M_c = \frac{F_c \cdot D}{2000} \quad \text{[daN·m]} \ , \tag{8.144}$$

în care: D este diametrul piesei de prelucrat, în mm; F_c - forţa principală de aşchiere, în daN.

8.6.5.7. Verificarea avansului

Verificarea avansului ales din tabele, se face luând în considerare mai multe criterii:

- *din punct de vedere al rezistenţei corpului cuţitului,* se face pornind de la relaţia:

$$F_c = \frac{bh^2 R_i}{6L} \quad \text{[daN]} \tag{8.145}$$

pentru cuţite cu corp de secţiune dreptunghiulară, şi:

$$F_c = \frac{\pi d^3 R_i}{32L} \quad \text{[daN]} \tag{8.146}$$

pentru cuţite de secţiune circulară, în care: R_i este efortul unitar admisibil la încovoierea materialului cuţitului, în daN/mm^2; b - lăţimea secţiunii cuţitului, în mm; L - lungimea în consolă a cuţitului, în mm; h - înălţimea secţiunii cuţitului, în mm; d - diametrul secţiunii circulare a corpului, în mm. Din egalarea expresiei (8.142) cu (8.145) şi respectiv (8.146) se obţine avansul f, de forma:

$$f_{adm} = \sqrt[y_{F_c}]{\frac{bh\frac{h}{L}R_i}{6C_{F_c} L a_p^{x_{F_c}} k_c}} \quad \text{[mm/rot]} \tag{8.147}$$

pentru secţiune dreptunghiulară, şi:

$$f_{adm} = \sqrt[y_{F_c}]{\frac{0{,}1 d^3 R_i}{6C_{F_c} L a_p^{x_{F_c}} k_c}} \quad \text{[mm/rot]} \tag{8.148}$$

pentru secţiune circulară.

- *din punct de vedere al forţei admise de rezistenţa mecanismului de avans* se face cu relaţia:

$$f_{adm} = \sqrt[y_{F_c}]{\frac{F_t}{0{,}34 C_{F_c} a_p^{x_{F_c}} k_c}} \quad \text{[mm/rot]} \ , \tag{8.149}$$

în care F_t este forţa tangenţială pe care o poate suporta dintele cremalierei.

- *din punct de vedere al rigidităţii piesei* se face cu relaţia:

$$f_{adm} = \sqrt[y_{F_c}]{\frac{3{,}18 \cdot E \cdot \Delta l \cdot D}{C_{F_c} a_p^{x_{F_c}} k_c}\left[\frac{D}{L}\right]^3} \quad \text{[mm/rot]} \ , \qquad (8.150)$$

în care Δl este săgeata admisibilă la încovoiere, în mm; L - lungimea piesei care se prelucrează, în mm; E - modulul de elasticitate, în daN/mm^2; D - diametrul piesei care se prelucrează, în mm.

- *din punct de vedere al rugozităţii suprafeţei admise* se face cu relaţia:

$$f_{adm} = \frac{C_f \cdot R_z^y \cdot r_\beta^u}{a_p^x \cdot k_r^z \cdot k_r'^z} \quad \text{[mm/rot]} \ , \qquad (8.151)$$

în care k_r şi k'_r sunt unghiurile de atac principal şi respectiv secundar, în grade; R_z - rugozitatea suprafeţei, în µm; r_β - raza de la vârful cuţitului, în mm; C_f, x, y; z; u - coeficienţi determinaţi pe cale experimentală.

Valoarea avansului f_{adm} calculată cu relaţiile (8.147), (8.148), (8.149), (8.150) şi (8.151) se compară cu valoarea f_s stabilită în paragraful 8.6.5.4, trebuind respectată condiţia:

$$f_{adm} \geq f_s \ . \qquad (8.152)$$

8.6.5.8. Stabilirea vitezei de aşchiere

Asimilată de obicei cu viteza mişcării principale de aşchiere, viteza de aşchiere se alege de obicei pornind de la valorile vitezei economice de aşchiere v_{ec}, rezultată din relaţia lui Taylor generalizată:

$$v_{ec} = \frac{C_v}{T_{ec}^m \cdot a_p^{x_v} \cdot f^{y_v} \cdot \left(\frac{HB}{200}\right)^{n_v}} k_v \quad \text{[m/min]} \ , \qquad (8.153)$$

în care T_{ec} este durabilitatea economică, în min; a_p - adâncimea de aşchiere, în mm; f - avansul, în mm/rot; HB - duritatea materialului de prelucrat; C_v; m; x_v; y_v; n_v - coeficienţi de corecţie aleşi din tabele. Coeficientul k_v se calculează cu relaţia:

$$k_v = k_T \cdot k_m \cdot k_{St} \cdot k_c \cdot k_s \cdot k_\gamma \cdot k_{k_r} \cdot k_{k'_r} \cdot k_{r\beta} \cdot k_{vB} \cdot k_q \cdot k_{\text{int}} \cdot k_{fr} \cdot k_{rac} \ , \qquad (8.154)$$

în care: k_T este coeficient de corecţie în funcţie de durabilitatea sculei; k_m - coeficient de corecţie în funcţie de prelucrabilitatea materialelor; k_{st} - coeficient de corecţie în funcţie de starea materialului; k_c - coeficient de corecţie în funcţie de tipul semifabricatului; k_s - coeficient de corecţie în funcţie de calitatea părţii active a sculei; k_γ; k_{kr}; $k_{k'r}$ - coeficienţi de corecţie în funcţie de geometria părţii active; $k_{r\beta}$

- coeficient de corecție în funcție de raza la vârf a sculei; k_{VB} - coeficient de corecție în funcție de mărimea uzurii sculei; k_q - coeficient de corecție în funcție de secțiunea cuțitului; k_{int} - coeficient de corecție pentru strunjirea interioară; k_{fr} - coeficient de corecție pentru strunjirea frontală; k_{rac} - coeficient de corecție în funcție de lichidul de răcire folosit.

8.6.5.9. Stabilirea turației şi a vitezei reale de aşchiere

Cunoscându-se viteza mişcării principale de aşchiere, se calculează turația n_{ec} cu relația:

$$n_{ec} = \frac{1\,000 v_{ec}}{\pi \cdot D} \quad \text{[rot/min]} \ . \tag{8.155}$$

Deoarece maşinile-unelte nu pot realiza orice valoare a turației calculate, se alege o turație de lucru n_r, cea mai apropiată, imediat inferioară lui n_{ec} sau imediat superioară, dacă $\Delta\ v < 5\%$.

După stabilirea turației reale n_r, se calculează viteza reală $v_{c\,r}$ cu relația:

$$v_{c\,r} = \frac{\pi D n_r}{1\,000} \quad \text{[m/min]} \ . \tag{8.156}$$

În final se calculează pierderea de viteză Δv:

$$\Delta v = \frac{\pi \cdot D}{1000}\left(\frac{n_{ec} - n_r}{n_{ec}}\right)100 \quad [\%] \ , \tag{8.157}$$

şi se verifică dacă $\Delta v < 5\ \%$. În cazul în care $\Delta v > 5\%$ se acționează asupra celorlalți factori care definesc condițiile de lucru (de exemplu, asupra sculei folosite).

8.6.5.10. Verificarea puterii de aşchiere

După stabilirea parametrilor v_{cr}; f_s şi a_p se determină puterea reală de aşchiere $P_{r,c}$ cu relația:

$$P_{r,c} = \frac{F_c \cdot v_{c\,r}}{6\,000 \cdot \eta_p} \quad \text{[kW]} \ , \tag{8.158}$$

în care F_c este componenta principală a forței de aşchiere, în daN; v_{cr} - viteza reală de aşchiere, în m/ min; η_p - randamentul maşinii-unelte. Puterea reală calculată se compară cu puterea motorului electric P_{ME}, şi dacă se respectă condiția $P_{r,c} < P_{MEA}$, atunci regimul stabilit este acceptat, dacă nu, se acționează asupra principalilor factori ce influențează viteza de aşchiere sau forța de aşchiere.

Observație. Determinarea tuturor coeficieților de corecție şi a parametrilor necesari stabiliri condițiilor de lucru la strunjire se face folosind Manualul

Inginerului Mecanic volumele I,II şi III şi normativele corespunzătoare.

8.6.6. Tipuri de prelucrări executate pe strunguri

Strungul este maşina-unealtă cu cele mai largi posibilităţi de prelucrare, permiţând executarea aproape a tuturor categoriilor de suprafeţe. Principalele tipuri de suprafeţe executate pe strung sunt prezentate în figura 8.116.

8.6.6.1. Prelucrarea suprafeţelor cilindrice

Suprafeţele cilindrice exterioare sau interioare (fig. 8.140. a şi b), în trepte sau cu treceri conice scurte de la un diametru la altul, se execută cu avans longitudinal v_{fl} sau transversal v_{ft}, folosind cuţite de strung adecvate tipului de suprafaţă.

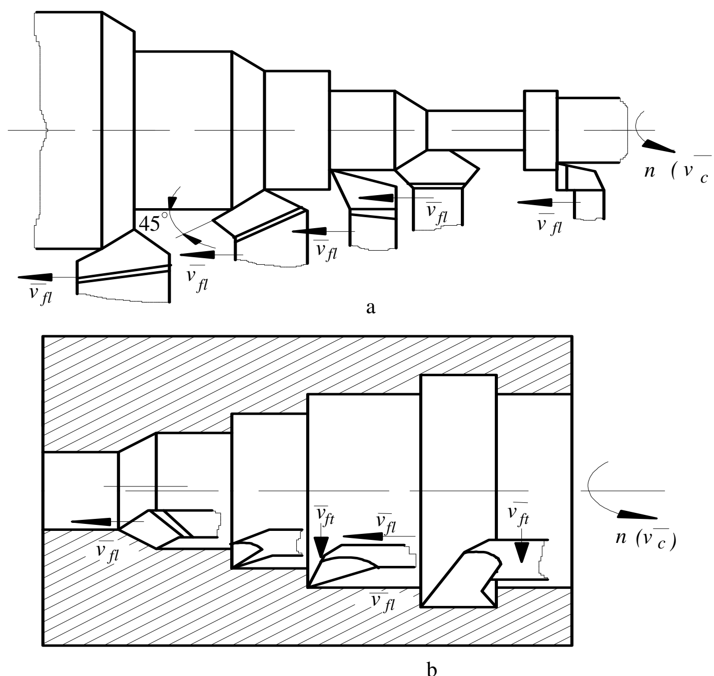


Fig. 8.140. Prelucrarea suprafeţelor cilindrice:
a - exterioare; b - interioare.

8.6.6.2. Prelucrarea suprafeţelor frontale

Suprafeţele frontale exterioare sau interioare (fig. 8.141) în trepte sau cu treceri conice scurte de la un diametru la altul se execută cu avans transversal f_t,

folosind cuțite adecvate genului de suprafață.

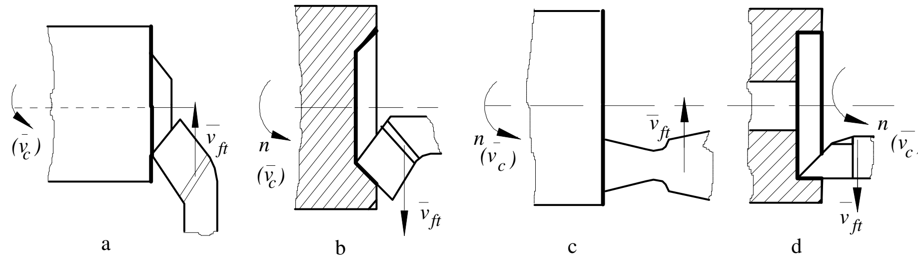


Fig. 8.141. Prelucrarea suprafețelor frontale:
a - plane - degroșare; b - conice; c- plane - finisare; d - în trepte.

8.6.6.3. Prelucrarea suprafețelor conice

Se poate face prin mai multe metode:

- *strunjirea conică prin înclinarea saniei port-cuțit* (fig. 8.142. a). Sania port-cuțit 1 se rotește cu unghiul $\alpha/2$ pentru a se realiza un avans înclinat f_α față de axa de rotație a piesei. Unghiul α se calculează cu relația:

$$\text{tg}\frac{\alpha}{2} = \frac{D-d}{2L} \quad ; \qquad (8.159)$$

- *strunjirea conică folosind rigla de copiat* (fig. 8.142. b). Se folosește un disozitiv de copiat format dintr-o riglă rigidă 1, ce se poate înclina cu unghiul $\alpha/2$ format între generatoarea conului și axa de rotație a piesei. De riglă se fixează, prin articulația 2, tija 3 și sania transversală 4, pe care se găsește suportul port-cuțit 5. Prin decuplarea piuliței șurubului de avans transversal, cuțitul se va deplasa paralel cu rigla rigidă 1, rezultând generatoarea conică a suprafeței;

- *strunjirea conică prin deplasarea transversală a păpușii mobile* (fig. 8.142. c). Se utilizează la prelucrarea suprafețelor conice lungi, cu conicități mici ($\alpha < 8^o$). Deplasarea păpușii mobile h se calculează cu relația:

$$h = L\sin\frac{\alpha}{2} \quad ; \qquad (8.160)$$

- *strunjirea conică a suprafețelor scurte* se face prin înclinarea tăișului principal al cuțitului, care trebuie să fie mai mare decât generatoarea conului (fig. 8.142. d), folosind fie avansul transversal, fie avansul longitudinal;

- *strunjirea conică prin combinarea celor două avansuri* se face combinând avansul longitudinal cu cel transversal (fig. 8.142. e), în așa fel încât tăișul principal să se deplaseze paralel cu generatoarea conului ce trebuie realizat. Se aplică pentru suprafețe conice, care nu necesită o precizie dimensională mare și precizie referitoare la abaterile de formă.

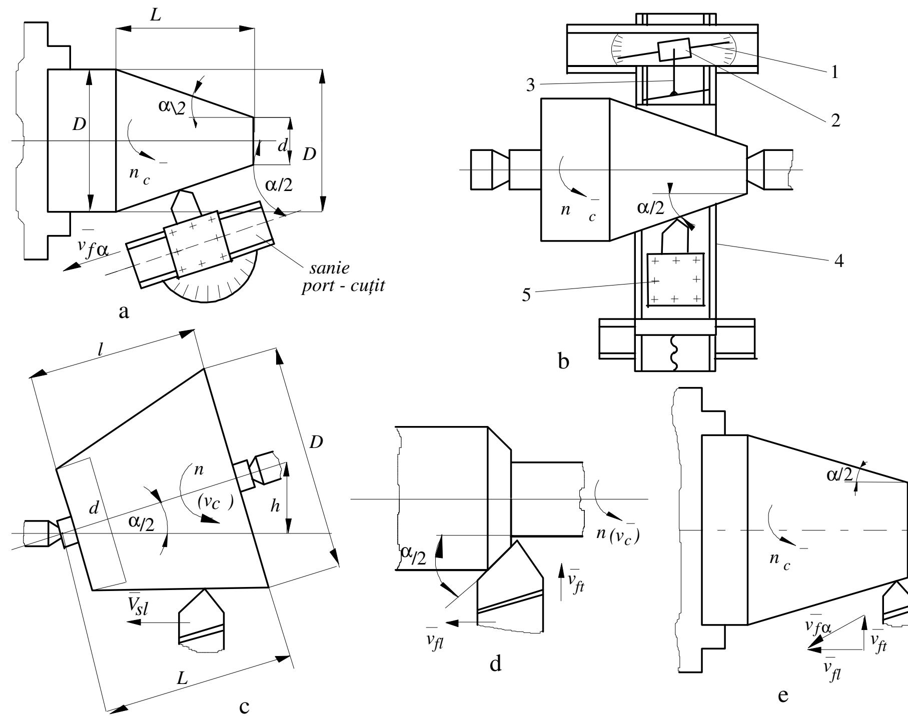


Fig. 8.142. Prelucrarea suprafețelor conice:
a - prin rotirea saniei port-cuțit; b - prin copiere ; 1 – riglă rigidă; 2 - articulație; 3 - tijă; 4 - sanie transversală; 5 - suport port - cuțit;; c - prin deplasarea transversală a păpuşii mobile; d - prin înclinarea tăişului cuțitului; e - prin combinarea avansurilor.

8.6.6.4. Prelucrarea suprafețelor profilate

Se realizează cu cuțite profilate, cu avans transversal (fig. 8.117. a) sau cu ajutorul dispozitivelor de copiat, cu avans cu traiectorie curbilinie. Cuțitele profilate pot fi prismatice sau de tip disc. Dispozitivele de copiat sunt la fel ca la strunjirea conică, cu deosebirea că rigla rigidă va fi curbă, având profilul identic cu cel ce se vrea generat (fig. 8.122).

8.6.6.5. Prelucrarea suprafețelor excentrice

Piesa se prelucrează prinsă între vârfuri, folosind câte o pereche de găuri de centrare axiale, pentru fiecare suprafață cilindrică în parte (fig.8.143). Pentru strunjirea suprafeței 1 piesa se centrează între găurile de centrare de pe axa I, iar pentru suprafața 2 prinderea se face între găurile de centrare de pe axa II.

La prelucrarea în serie a pieselor excentrice, se folosesc dispozitive de prindere a pieselor, reglate inițial la excentricitatea dorită.

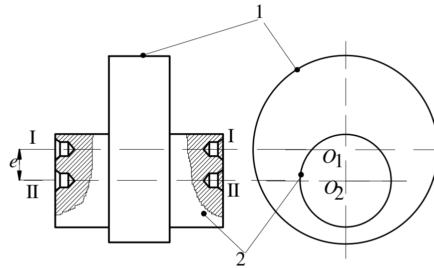


Fig. 8.143. Prelucrarea suprafețelor excentrice: 1; 2 - suprafețe excentrice de prelucrat; I; II – axele găurilor de centrare.

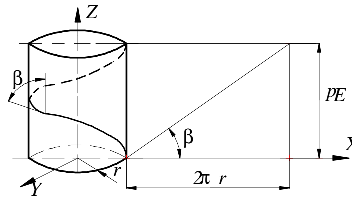


Fig. 8.144. Elementele filetului.

8.6.6.6. Filetarea

Filetarea este operația de executare a unui filet. Filetul este o suprafață elicoidală, obținută prin deplasarea unei generatoare de formă oarecare în lungul unei directoare în formă de elice cilindrică sau conică. Generatoarea filetului se materializează cu ajutorul tăişurilor sculelor de filetare, care la filetarea pe strung sunt: filierele, tarozii şi cuțitele de strung (cel mai des folosite).

Elementele caracteristice ale unui filet sunt: profilul (pătrat, tringhiular, dreptunghiular, rotund etc), unghiul de vârf al profilului, pasul elicei directoare, sensul elicei directoare (pe dreapta, pe strânga), numărul de începuturi, diametrul exterior, mediu şi interior şi unghiul la vârf al conului pe care este înfăşurată directoarea elicoidală (în cazul filetelor conice). La filetarea pe strung se foloseşte un lanț cinematic de filetare (fig. 8.120), care trebuie să asigure o legătură biunivocă între elementele ecuației:

$$p_E = \frac{2\pi r}{\text{ctg}\beta} \quad , \tag{8.161}$$

în care p_E este pasul elicei filetului; r - raza cilindrului pe care este înfăşurată elicea; β - unghiul de înclinare al elicei față de direcția axei piesei (fig. 8.144).

Realizarea legăturii biunivoce între elementele ecuației (8.161) se traduce în a asigura egalitatea între avansul longitudinal f_l şi pasul filetului de executat p.

Pornind de la egalitatea:

$$n_s \cdot p_s = n_p \cdot p_E \quad , \tag{8.162}$$

şi ținând cont că :

$$\frac{n_s}{n_p} = \frac{z_A}{z_B} \cdot \frac{z_C}{z_D} \quad , \tag{8.163}$$

se determină raportul:

$$\frac{p_E}{p_s} = \frac{z_A}{z_B} \cdot \frac{z_C}{z_D} \cdot i_{CAF} \quad , \tag{8.164}$$

în care p_s este pasul şurubului conducător; z_A; z_B; z_C; z_D - numărul de dinți ai roților de schimb; i_{CAF} - raportul de transmitere al CAF; n_s, n_p - turația şurubului conducător şi respectiv a piesei.

Obținerea diverşilor paşi p_E se realizează prin variația raportului de transmitere i_{CAF} a mişcării în CAF, cu ajutorul manetelor acesteia. În cazul în care este necesară obținerea unui filet cu pas mai rar utilizat, se păstrează constant raportul i_{CAF} şi se variază i_{RS} (raportul roților de schimb *A, B, C, D*), adică se montează roți de schimb calculate cu relația:

$$i_{RS} = \frac{z_A}{z_B} \cdot \frac{z_C}{z_D} = \frac{p_E}{p_s} \cdot i_{CAF} \quad , \tag{8.165}$$

Executarea filetelor cu mai multe începuturi, de exemplu, cu două începuturi (fig. 8.145), se face prelucrându-se fiecare elice independent, din mai multe treceri succesive, până se ajunge la adâncimea corespunzătoare unui filet cu pasul aparent p_a :

$$p_a = \frac{p_E}{i} \quad , \tag{8.166}$$

în care p_E este pasul elicei (al fiecărui început); i - numărul de începuturi. După terminarea unui început, cuțitul trebuie poziționat pe elicea următoare, operație ce se poate face prin rotirea semifabricatului cu un unghi egal cu $360^o/i$ şi deplasarea cuțitului, în lungul generatoarei, cu valoarea p_a sau filetarea cu mai multe cuțite simultan poziționate la distanța p_a .

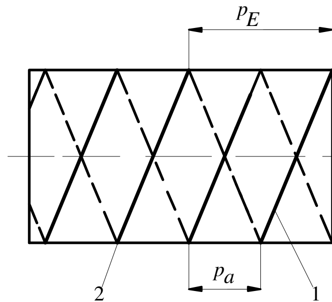


Fig. 8.145. Executarea filetelor cu mai multe începuturi:
1; 2 - elice de filet; p_a - pasul aparent.

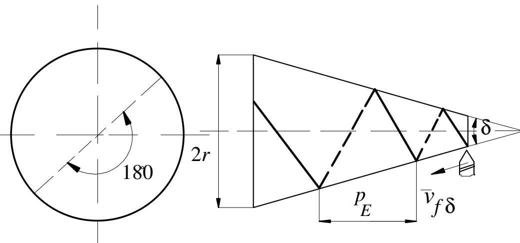


Fig. 8.146. Executarea filetelor conice.

Prelucrarea filetelor conice presupune deplasarea cuțitului în timpul filetării pe o generatoare înclinată față de axa de rotație a piesei, cu un unghi egal

cu jumătatea unghiului la vârf δ al conului (fig. 8.146).

8.6.6.7. Alte prelucrări pe strung

Pe lângă prelucrările enumerate mai sus, pe strung se mai pot realiza o serie de alte prelucrări ca: retezarea, canelarea, execuţia de degajări, executarea de găuri cu burghiul, ambutisarea unor piese complexe (în producţia de unicate sau serie mică), sudarea prin frecare şi altele.

8.7. PRELUCRAREA PRIN RABOTARE

8.7.1. Definire. Scheme de principiu

Rabotarea este procedeul de prelucrare prin aşchiere, care se realizează prin combinarea mişcării principale de aşchiere, totdeauna de translaţie - executată de sculă sau de piesa semifabricat cu mişcarea de avans intermitent - executată de piesa-semifabricat sau de sculă.

Schema de principiu a procedeului se prezinta în figura 8.147.

Principalele caracteristici ale procedeului sunt:

- mişcarea principală de aşchiere, executată de sculă sau semifabricat, este mişcare de translaţie (rectilinie-alternativă), aşchierea având loc doar în perioada cursei active (I);

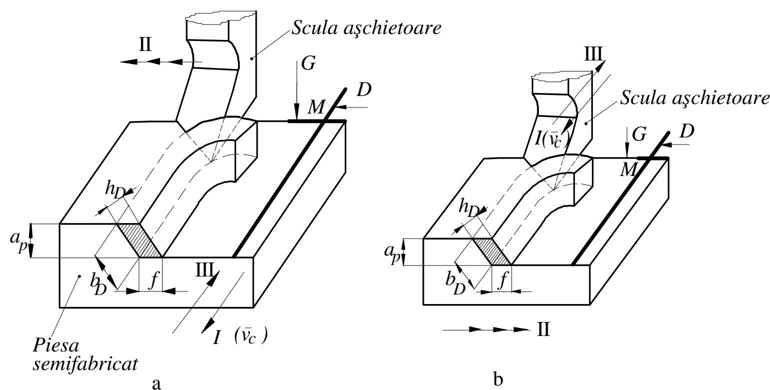


Fig. 8.147. Schema de principiu la rabotare:
a - rabotarea longitudinală; b - rabotarea transversală; I - cursa activă a mişcării principale de aşchiere; II - mişcarea de avans intermitent; III - cursa pasivă; a_p - adâncimea de aşchiere; h_D - grosimea aşchiei; b_D - lăţimea aşchiei; *f* - avansul; *G* - generatoarea; *D* - directoarea.

- mişcarea de avans II, se realizează intermitent, la capătul cursei de mers în gol III (cursa inactivă);

- așchierea se produce cu șoc, într-un singur sens al mișcării principale;
- pentru protejarea vârfului sculei, la cursa de mers în gol, scula este ridicată de pe semifabricat;
- utilizează scule simple, cu o singură muchie așchietoare principală și mai multe muchii așchietoare secundare.

Când mișcarea principală de așchiere este executată de piesa-semifabricat și avansul intermitent de sculă, procedeul se numește *rabotare longitudinală* (fig. 8.147. a), iar când mișcarea principală de așchiere este executată de sculă și avansul intermitent de piesa-semifabricat, procedeul se numește *rabotare transversală* (fig. 8.147. b).

8.7.2. Generarea suprafețelor prin rabotare

Prin rabotare se pot genera suprafețe plane și profilate, orizontale, verticale și înclinate, suprafețe cilindrice și conice (folosind dispozitive speciale) și suprafețe de altă formă.

La rabotare, generatoarea poate fi realizată prin:

- *metoda generatoarei cinematice.* Generatoarea liniară G se realizează ca traiectorie a punctului *M* (fig. 8.147) de pe tăișul sculei așchietoare, în mișcarea sa după o dreaptă paralelă cu mișcarea de avans intermitent.

Realizarea unei generatoare circulare este posibilă dacă se folosește un dispozitiv care să rotească semifabricatul (fig. 8.148) în jurul unei axe ce trece prin centrul cercului ce constituie generatoarea.

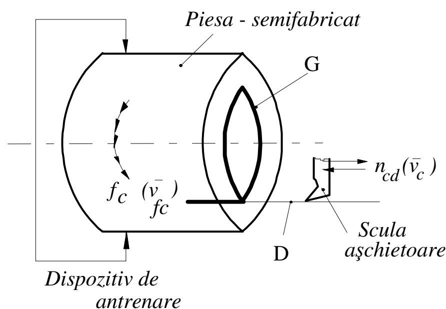


Fig. 8.148. Generarea suprafețelor prin metoda generatoarei cinematice circulare: $\bar{v}_c$ - viteza mișcării principale de așchiere; n_{cd} - număr de curse duble pe minut; f_c - avans circular; $\bar{v}_{fc}$ - viteza de avans circular intermitent.

- *metoda generatoarei materializate*. Pentru realizarea de suprafețe complicate, generatoarea este materializată de muchia așchietoare a unor scule corespunzătoare. Generarea canalelor T (fig. 8.149. a), a dinților unei cremaliere (fig. 8149. b) sau a unor suprafețe profilate (fig. 8.149. c), presupune cuțite de rabotat cu muchii așchietoare corespunzătoare, ce materializează generatoarea G;
- *metoda generatoarei programate*, folosită în cazul suprafețelor complexe (de tip cilindric sau conic). Generatoarea G se obține prin utilizarea generatoarei G_s, materializată pe șablonul *S* (fig. 8.150), urmărirea șablonului făcându-se cu un

sistem de copiere hidraulic.

În majoritatea cazurilor, directoarea D este rectilinie, ca urmare a modului de construcție a mașinilor-unelte pe care se efectuează acest mod de prelucrare, dar se pot utiliza şi directoare spațiale, ca de exemplu elicea cilindrică.

8.7.3. Geometria sculelor aşchietoare. Tipuri de scule

Sculele utilizate cel mai des la rabotare sunt *cuțitele de rabotare,* executate de obicei din oțel rapid şi uneori din oțeluri de scule sau armate în zona activă cu

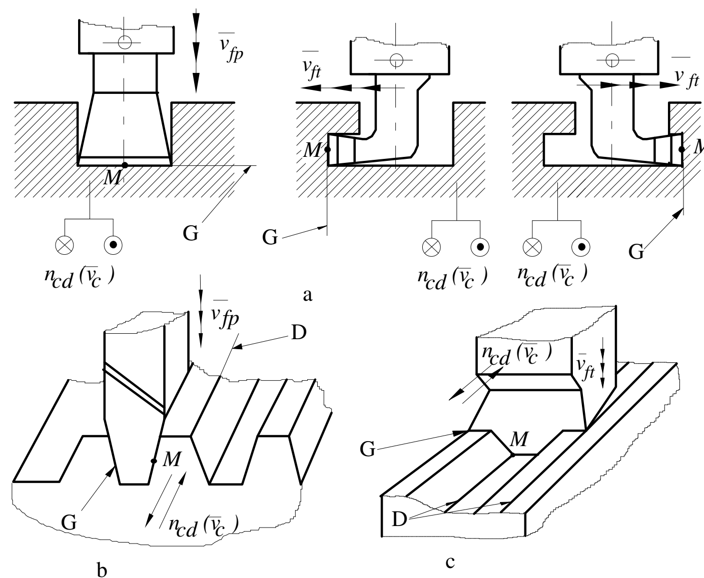


Fig. 8.149. Generarea suprafețelor prin metoda generatoarei materializate:
a - la prelucrarea canalelor în T; b - la prelucrarea cremalierelor dințate; c - la prelucrarea suprafețelor profilate.

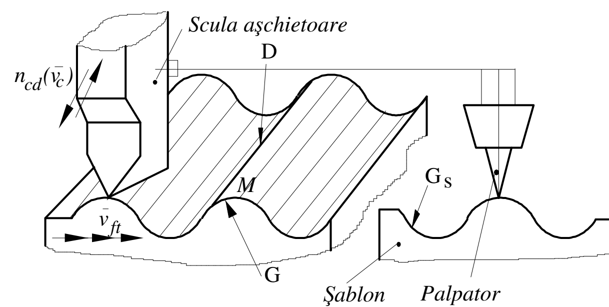


Fig. 8.150. Realizarea suprafețelor prin metoda generatoarei programate.

plăcuțe din oțel rapid sau carburi metalice.

Forma zonei active este adecvată formei suprafețelor prelucrate (fig. 8.147 şi 8.148). Cele mai des întâlnite forme constructive de cuțite se prezintă în figura 8.151, deosebindu-se:

- cuțite drepte pe stânga (fig. 8.151. a) şi pe dreapta (fig. 8.151. b);
- cuțite încovoiate pe stânga (fig. 8.151. c) şi pe dreapta (fig. 8.151. d);
- cuțite cotite înainte (fig. 8,151. e) şi înapoi (fig. 8.151. f);
- cuțite cu cap îngustat (fig. 8.151. g, h şi i).

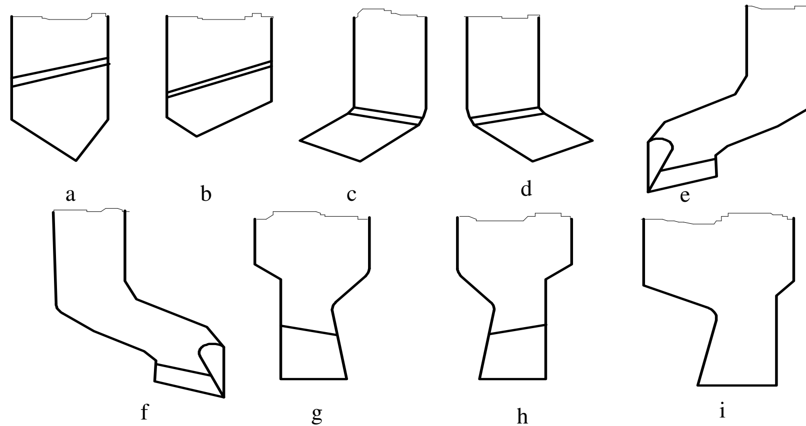


Fig. 8.151. Principalele forme constructive ale cuțitelor de rabotat:
a - drept pe stânga; b - drept pe dreapta; c - încovoiat pe stânga; d - încovoiat pe dreapta; e - cotit înainte; f - cotit înapoi; g; h; i - cu cap îngustat.

Cuțitele încovoiate şi cotite prezintă avantajul unor deformații ΔL, pe direcția normală la suprafața prelucrată, mai mici decât cuțitele drepte (fig. 8.152).

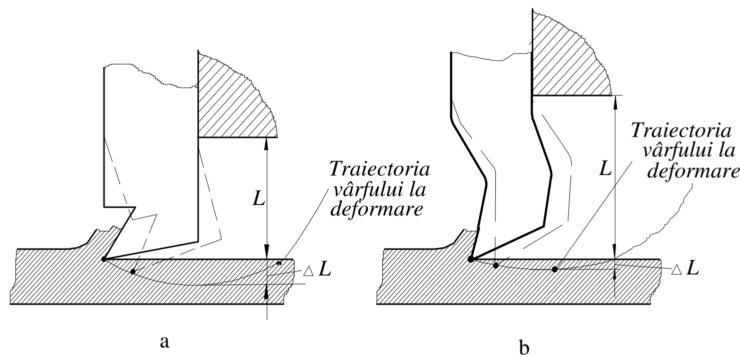


Fig. 8.152. Deformația cuțitului de rabotat în timpul lucrului:
a - la cuțitele drepte; b - la cuțitele încovoiate.

Parametrii geometrici ai zonei active sunt similari cu cei ai cuțitelor de strung (fig. 8.153), în care α este unghiul de aşezare; β - unghiul de ascuțire; γ - unghiul de degajare; ε_r - unghiul de la vârf; k_r- unghiul de atac principal; k'_r - unghiul de atac secundar; λ_S - unghiul de înclinare al muchiei aşchietoare.

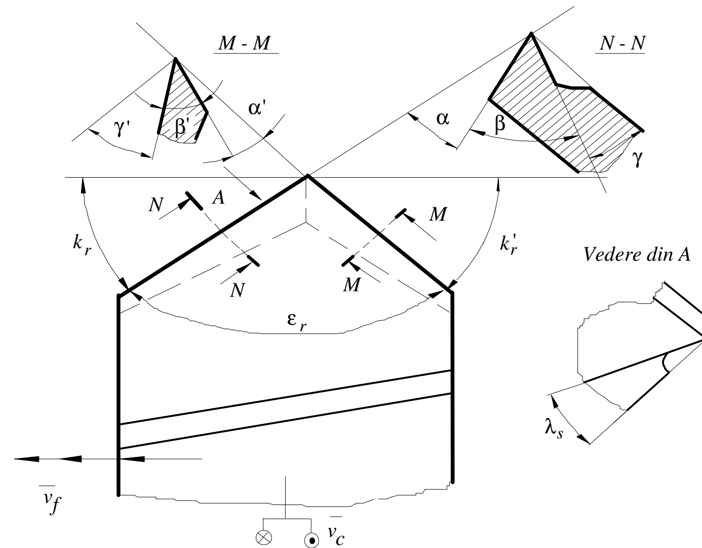


Fig. 8.153. Parametrii geometrici ai zonei active a cuțitelor de rabotat: α; α' - unghiul de aşezare principal, respectiv secundar; γ; γ' - unghiul de degajare principal, respectiv secundar; β; β' - unghiul de ascuțire principal, respectiv secundar; k_r ; k'_r - unghiul de atac principal, respectiv secundar; ε_r - unghiu la vârf; λ_s - unghiul de înclinare a tăişului.

La rabotare, deoarece avansul de generare este intermitent, parametrii geometrici funcționali nu se deosebesc de cei constructivi.

8.7.4. Maşini-unelte şi dispozitive specifice la prelucrarea prin rabotare

Maşinile-unelte de rabotat se clasifică după modul de construcție şi după schema de lucru în:

- *maşini de rabotat cu cap mobil (şepinguri),* pe care se execută rabotarea transversală;
- *maşini de rabotat cu masă mobilă (raboteze),* pe care se execută rabotarea longitudinală .

8.7.4.1. Maşini de rabotat cu cap mobil

Această categorie de maşini este destinată prelucrării prin rabotare a suprafețelor plane orizontale, verticale sau înclinate, precum şi a suprafețelor de

diferite forme (canale în T, canale în coadă de rândunică etc.), la piese-semifabricat ce nu depăşesc lungimea de 1 000 mm. Cu dispozitive speciale se pot prelucra şi danturi la cremaliere şi roţi dinţate de precizie mică.

Schema de principiu a unei maşini de rabotat cu cap mobil (şeping) se prezintă în figura 8.154.

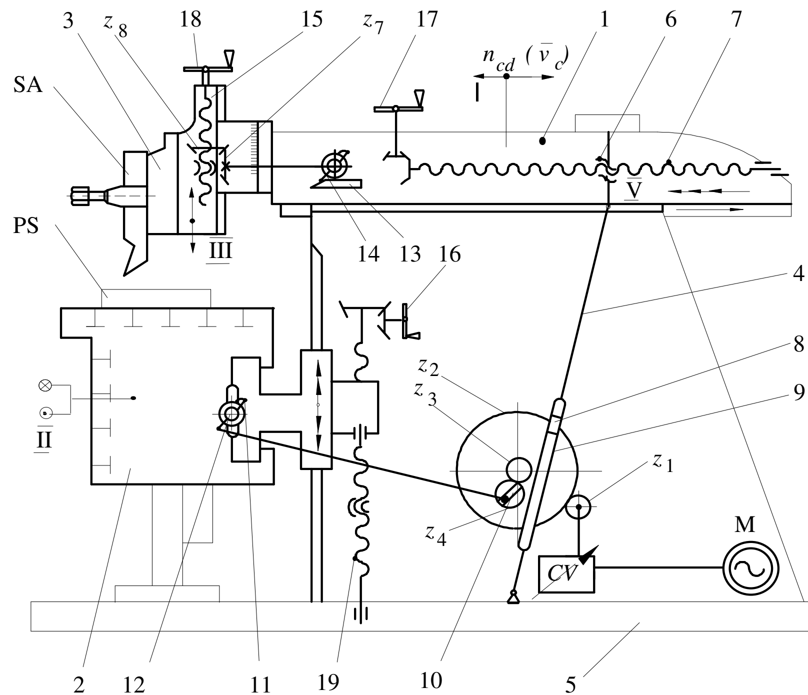


Fig. 8.154. Schema de principiu a maşinii de rabotat cu cap mobil (şeping):
1 - cap mobil; 2 - masa; 3 - dispozitiv port-sculă; 4 - braţ articulat; 5 - batiu; 6 - piuliţă; 7; 19 - şurub de reglare; 8 - culisă oscilantă; 9 - ghidajele culisei; 10 - excentric reglabil; 11; 14 - mecanism cu clichet; 12 - şurub de reglare; 13 - camă; 15 - şurub de reglare vertical; 6; 17; 18 - manete de acţionare manuală; PP – piesa de prelucrat; SA – scula aşchietoare.

Mişcarea principală de aşchiere este o mişcare rectilinie alternativă I, executată de capul mobil 1 al maşinii. Mişcarea de avans poate fi realizată de masa 2, pe care este fixată piesa-semifabricat PP (avansul transversal II), sau de capul port-sculă 3 (avansul vertical III sau eventual înclinat). Masa poate să mai execute o mişcare de poziţionare IV.Lanţul cinematic principal cuprinde: motorul electric asincron M, cutia de viteze CV, transmisia z_1/z_2 şi mecanismul cu culisă oscilantă (format din braţul 4, articulat de batiul 5, la partea inferioară, şi de capul mobil 1, la partea superioară prin intermediul piuliţei 6, prin care trece şurubul de reglare 7, a poziţiei cursei). Culisa oscilantă 8 se deplasează pe ghidajele 9 (prevăzute pe braţul

oscilant) care transformă mişcarea de rotaţie în mişcare rectilinie alternativă a berbecului (capului mobil). Mişcarea de avans transversal II, transmisă mesei în mod periodic, se realizează prin angrenajele z_3/z_4 , excentricul reglabil 10, mecanismul cu clichet 11 şi şurubul 12. Mişcarea de avans vertical III este realizată prin intermediul camei 13, care, la cursa de retragere a capului mobil, roteşte roata cu clichet a mecanismului 14, roţile dinţate z_7/z_8 şi şurubul 15. Mişcările de poziţionare ale traversei IV şi berbecului V se realizează manual, cu manetele 16, 17, 18 şi şuruburile 19, 7.

Parametrii principali ai unui şeping sunt: lungimea cursei capului mobil şi dimensiunile mesei.

8.7.4.2. Maşini de rabotat cu masă mobilă

Această categorie de maşini este destinată prelucrării suprafeţelor plane sau profilate de lungime mare (ghidaje de maşini-unelte, blocuri şi chiulase de

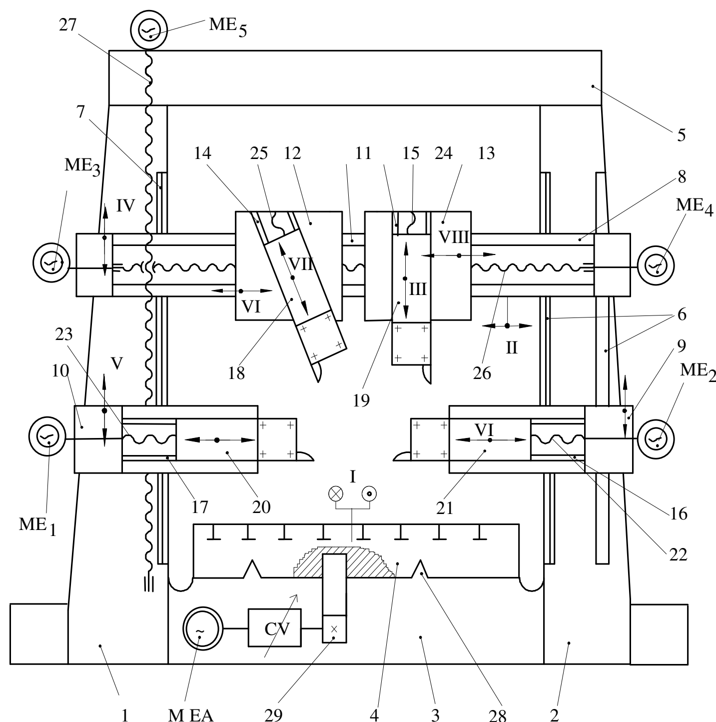


Fig. 8.155. Raboteză universală cu doi montanţi:
1; 2 - montanţi; 3 - batiu; 4 - masă; 5 - traversă fixă; 6;7 - ghidajele montanţilor; 8 - traversă mobilă; 9; 10 - cărucioare orizontale; 11 - ghidajele traversei mobile; 12; 13 - cărucioare verticale; 14; 15; 16; 17 - ghidajele cărucioarelor; 18; 19; 20; 21 - sănii port - cuţit; 22; 23; 24; 25; 26; 27 – mecanisme şurub - piuliţă; 28 - ghidajele mesei; MEA_1; MEA_2 ; MEA_3 ; MEA_4 ; MEA_5 - motoare de acţionare.

motoare, lonjeroane etc.) Aceste maşini se caracterizează prin dimensiuni mari, cursa mesei mobile putând atinge valori de 20 m, având în acelaşi timp posibilitatea prelucrării simultane a mai multor suprafeţe, deoarece pot fi înzestrate cu mai multe capete port-cuţit.Maşinile de rabotat cu masă mobilă se construiesc în mai multe variante: cu *o coloană (montant),* cu *două coloane* (cu *doi montanţi*) şi *speciale* (pentru rabotarea muchiilor tablelor etc.).

Schema de principiu a unei maşini de rabotat (raboteze) cu doi montanţi se prezintă în figura 8.155. Maşina este formată din doi montanţi 1 şi 2 situaţi de o parte şi de alta a suportului 3 al mesei 4, pe care se fixează piesa de prelucrat. Montanţii sunt rigidizaţi la partea superioară de traversa fixă 5. Pe montanţi sunt prelucrate ghidajele 6 şi 7 pe care se deplasează traversa mobilă 8 şi cărucioarele orizontale 9 şi 10. Pe traversa mobilă sunt prelucrate ghidajele 11 ce permit deplasarea cărucioarelor verticale 12 şi 13. Fiecare cărucior este prevăzut cu ghidajele 14, 15, 16, 17 ce permit depalasarea săniilor port-cuţit 18, 19, 20, 21, acţionate prin mecanismele de tip şurub - piuliţă 22, 23, 24, 25, 26 şi 27. Mişcarea principală de aşchiere I se realizează de către masa mobilă 4, pe ghidajele 28. Mişcarea este primită prin intermediul mecanismului pinion-cremalieră 29 de la cutia de viteze CV şi motorul electric asincron MEA. Mişcările de avans ale săniilor port-cuţit sunt dependente de mişcarea principală a mesei.

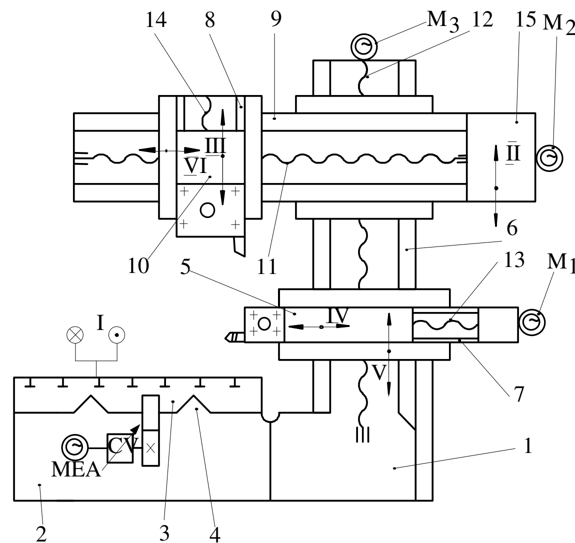


Fig. 8.156. Raboteză cu o coloană (cu un montant):
1 - montant; 2 - suport; 3 - masă; 4 - ghidajele mesei; 5 - cap de prelucrare orizontal; 6 - ghidajele montantului; 7; 8 - ghidajele săniilor port - cuţit; 9 - ghidajele traversei mobile; 10 - cap de prelucrare vertical; 11; 12; 13; 14 - mecanisme tip şurub - piuliţă; 15 - traversa mobilă; MEA, M_1, M_2, M_3 - motoare de acţionare; I - mişcarea principală de aşchiere; III, IV, V, VI - mişcări de avans intermitent; II - mişcare de poziţionare.

Fiecare mişcare de avans se realizează periodic, la sfârşitul cursei de mers în gol, de către cărucioarele verticale de pe traversa mobilă sau de cele orizontale, printr-un sistem de pârghii, clichet, roată dințată sau de la motoare separate ME_1, ME_2 şi ME_3 .

Mişcările de poziționare se pot face manual sau rapid. Pentru prelucrarea semifabricatelor de lățimi relativ mari, care nu pot intra între coloanele maşinii de rabotat cu doi montanți, se folosesc maşinile de rabotat cu o coloană (fig. 8.156), care au aceeaşi funcționare ca şi cele cu doi montanți.

8.7.4.3. Dispozitive şi accesorii specifice maşinilor de rabotat

Specifice la maşinile de rabotat sunt sistemele de basculare a sculei aşchietoare, în vederea evitării uzurii acesteia la cursa de mers în gol a berbecului (fig. 8.157). Scula 1 se montează în suportul port-sculă 2, aşezat pe placa rotitoare 3. Clapeta rabatabilă 4 se roteşte în jurul unui bolț fix 5, îndepărtând scula de suprafața prelucrată la cursa de mers în gol (fig. 8.157. b).

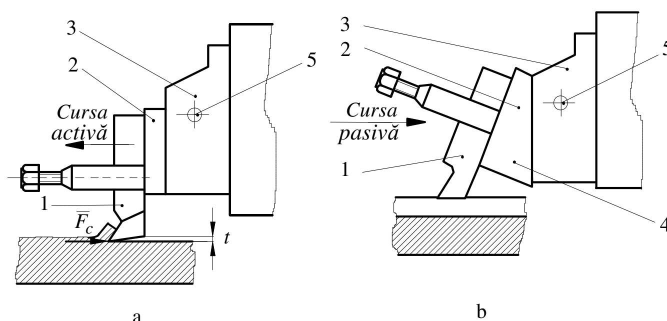


Fig. 8.157. Sistemul de prindere şi basculare a sculei aşchietoare: a - în cursa activă; b - în cursa de mers în gol (pasivă): 1 - scula aşchietoare; 2 - suport port - sculă; 3 - placă rotitoare; 4 - clapetă rabatabilă; 5 - bolț fix.

Pentru prinderea semifabricatelor pe masa maşinii se folosesc mai multe metode: prinderea şi fixarea cu bride, fixarea cu opritori şi prinderea cu şuruburi, utilizarea menghinelor cu fălci paralele, fixare cu colțare şi strângere cu cleme etc.

Cu dispozitive adecvate, ce permit divizarea, se pot prelucra cremaliere şi arbori canelați.

8.7.5. Stabilirea condițiilor de lucru la rabotare

Când se stabilesc condițiile de lucru la rabotare trebuie avute în vedere următoarele aspecte: forma şi dimensiunile semifabricatului, precizia dimensională şi rugozitatea suprafeței prelucrate, caracteristicile mecanice şi starea materialului de prelucrat, natura materialului, construcția şi parametrii geometrici ai sculei aşchietoare, forma geometrică a suprafețelor de prelucrat, condițiile în care se desfăşoară procesul de aşchiere şi productivitatea prelucrării.

Principalele etape ce trebuie parcurse în vederea stabilirii condițiilor de lucru la rabotare sunt: alegerea sculei aşchietoare; stabilirea durabilității economice şi a uzurii maxim admisibile a sculei aşchietoare; stabilirea adâncimii de aşchiere şi a numărului de treceri; stabilirea avansului de aşchiere; stabilirea forțelor de aşchiere; verificarea avansului de aşchiere; stabilirea vitezei de aşchiere; stabilirea numărului de curse duble pe minut efectuate de sculă sau de piesa-semifabricat; verificarea puterii de aşchiere.

8.7.5.1. Alegerea sculei aşchietoare

Scula aşchietoare se alege în funcție de forma şi dimensiunile suprafeței de prelucrat (vezi figurile 8.149 şi 8.151), de condițiile de lucru, de precizia prelucrării şi rugozitatea ce se vrea obținută.În funcție de natura şi proprietățile fizico-mecanice ale materialului de prelucrat se alege materialul părții active a cuțitului, care poate fi: oțel rapid, oțel carbon de scule, oțel aliat pentru scule sau oțeluri de scule armate cu plăcuțe din carburi metalice.Alegerea sculei se face conform STAS R 6781 - 63 şi STAS R 6375 – 61 sau folosind soft-uri specializate.

8.7.5.2. Stabilirea durabilității economice şi a uzurii maxim admisibile a sculei aşchietoare

Durabilitatea economică se alege în funcție de dimensiunile secțiunii cuțitului, materialul părții active a cuțitului, materialul semifabricatului şi condițiile în care se desfăşoară rabotarea din tabele şi nomograme.

Durabilitatea economică T_{ec} variază între 30 până la 120 minute.

Uzura admisibilă a cuțitelor folosite la rabotat pentru degroşare şi finisare se alege din tabele, în funcție de materialul părții active a cuțitului, materialul semifabricatului şi rugozitatea prescrisă suprafeței.

8.7.5.3. Stabilirea adâncimii de aşchiere şi a numărului de treceri

Adâncimea de aşchiere se alege în funcție de natura operației de rabotare (de degroşare sau de finisare), ținând cont de următoarele recomandări:

- la degroşare, adâncimea de aşchiere trebuie astfel adoptată încât să fie pe cât posibil egală cu adaosul de prelucrare;
- la finisare, pentru asigurarea unei bune calități a suprafeței prelucrate, adâncimea de aşchiere să nu depăşească 3 mm;
- la prelucrarea cu cuțite late ($k_r = 0^o$), adâncimea de aşchiere se recomandă 0,2 ...0,5 mm.

8.7.5.4. Stabilirea avansului de aşchiere

Mărimea avansului depinde de rezistența şi durabilitatea cuțitului, de rigiditatea piesei şi a maşinii-unelte, de forța maximă posibilă, admisă de mecanismele de avans, de secțiunea aşchiei şi de presiunea specifică de rupere a

materialului prelucrat.

La prelucrarea de degroşare, mărimea avansului se alege din tabele în funcţie de natura materialului de prelucrat, natura materialului sculei, adâncimea de aşchiere şi unghiul de atac k_r. Avansul de generare la degroşare are valori cuprinse între 0,45 şi 2,5 mm/ cursă dublă.

La prelucrarea de finisare mărimea avansului se alege din tabele în funcţie de natura materialului de prelucrat, rugozitatea suprafeţei prelucrate şi raza de bontire a vârfului cuţitului. Avansul de generare la finisare are valori cuprinse între 0,10 şi 0,66 mm/ cursă dublă.

8.7.5.5. Stabilirea forţelor de aşchiere

În timpul procesului de rabotare apar o serie de forţe ce acţionează atât asupra cuţitului, cât şi asupra materialului ce trebuie îndepărtat (fig. 8.12).

Forţa totală de aşchiere F se calculează cu relaţia:

$$F = \sqrt{F_f^2 + F_p^2 + F_c^2} \quad \text{[daN]} \ , \qquad (8.167)$$

în care F_c este forţa principală de aşchiere; F_p - forţa de respingere (în direcţia cuţitului); F_f - forţa de avans (axială).

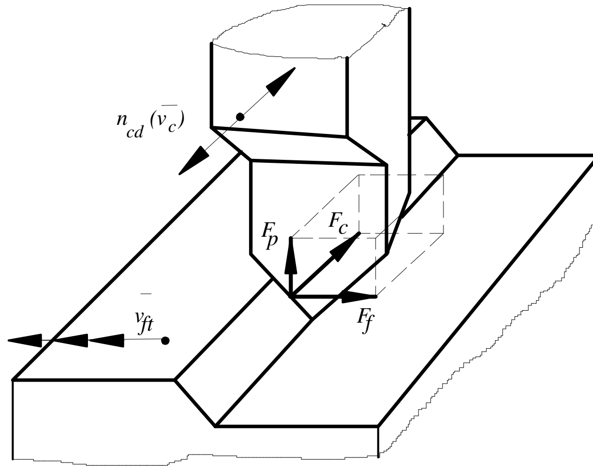


Fig. 8.158. Componentele forţei de aşchiere la rabotare: $\overline{F_c}$ - componenta principală de aşchiere; $\overline{F_f}$ - componenta în direcţia avansului; $\overline{F_p}$ - componenţa în direcţia cuţitului de rabotat.

Aceste componente se calculează cu relaţii de forma:

$$F_c = C_{F_c} \cdot a_p^{\,x_{F_c}} \cdot f^{\,y_{F_c}} \cdot k_{F_c} \ , \qquad (8.168)$$

$$F_p = C_{F_p} \cdot a_p^{\,x_{F_p}} \cdot f^{\,y_{F_p}} \cdot k_{F_p} \ , \qquad (8.169)$$

$$F_f = C_{F_f} \cdot a_p^{\,x_{F_f}} \cdot f^{\,y_{F_f}} \cdot k_{F_f} \ , \qquad (8.170)$$

în care $C_{F_c}; C_{F_p}; C_{F_f}$; $k_{F_c}; k_{F_p}$; k_{F_f} sunt coeficienţi de corecţie determinaţi pe cale experimentală în funcţie de natura materialului de prelucrat, materialul sculei, forma geometrică a suprafeţei şi geometria parţii active a cuţitului; $x_{F_c}; x_{F_p}; x_{F_f}$; $y_{F_c}; y_{F_p}; y_{F_f}$ - exponenţi determinaţi pe cale experimentală.

8.7.5.6. Stabilirea vitezei de aşchiere

Viteza de aşchiere la rabotare este în general mai mică decât la strunjire şi de multe ori variază între o valoare maximă şi una minimă pe lungimea de aşchiere. Această variaţie este datorată faptului că mişcarea principală este de translaţie alternativă (de „du-te vino”).

Viteza de aşchiere medie $v_{m,c}$ se calculează cu relaţia:

$$v_{m,c} = \frac{L n_{cd}}{1\ 000}\left(1+\frac{1}{k}\right) \ \text{[m/min]} , \tag{8.171}$$

în care L este lungimea cursei, în mm; n_{cd} - numărul de curse duble pe minut; $k = v_g/v_a$ (v_g - viteza de mers în gol; v_a - viteza de lucru).

Viteza economică medie de aşchiere $v_{ec,c}$, se calculează cu relaţia:

$$v_{ec,c} = \frac{C_v}{T^m \cdot a_p^{x_v} \cdot f^{y_v}} k_v \ \text{[m/min]} , \tag{8.172}$$

în care C_v ; k_v; m; x_v; y_v sunt coeficienţi şi exponenţi stabiliţi experimental, cu valori date în tabele, în funcţie de condiţiile concrete de lucru; a_p - adâncimea de aşchiere; f - avansul de generare.

8.7.5.7.Stabilirea numărului de curse duble pe minut şi a vitezei reale de aşchiere

Numărul de curse duble pe minut n_{cd}, executate de sculă sau piesa-semifabricat, se calculează cu relaţia:

$$n_{cd,ec} = \frac{1\,000 v_{ec,c}}{L\left(1+\frac{v_g}{v_a}\right)} \ \text{[cd/min]} , \tag{8.173}$$

în care L este lungimea cursei, în mm; v_g - viteza în cursa de mers în gol, în m/min; v_a - viteza în cursa activă, în m/min; $v_{ec,c}$ - viteza economică de aşchiere.

Deoarece nu orice număr de curse duble calculat $n_{cd,ec}$ se poate realiza practic pe maşinile de rabotat, se va alege o valoare $n_{cd,real}$ cât mai aproape posibil de $n_{cd,ec}$, astfel încât să rezulte o viteză reală de aşchiere cât mai apropiată de viteza economică de aşchiere. Se calculează apoi viteza de aşchiere reală şi pierderea de viteză Δv . Dacă este îndeplinită condiţia $\Delta v < 5\%$, se acceptă regimul de aşchiere

ales, dacă nu, se acţionează asupra avansului f sau adâncimii a_p.

8.7.5.8. Verificarea puterii de aşchiere

După stabilirea parametrilor a_p, f, şi $v_{c,real}$, se determină puterea reală de aşchiere $P_{r,c}$ cu relaţia:

$$P_{r,c} = \frac{F_c \cdot v_{c,real}}{6000 \cdot \eta} \text{ [kW]} , \tag{8.174}$$

în care F_c este componenta principală de aşchiere, în daN; $v_{c,real}$ - viteza reală de aşchiere, în m/min; η - randamentul maşinii-unelte.

Puterea reală calculată se compară cu puterea motorului electric P_{MEA} şi dacă se respectă condiţia:

$$P_{r,c} < P_{MEA} , \tag{8.175}$$

atunci regimul stabilit este acceptat, dacă nu, se acţionează asupra principalilor factori ce influenţează viteza de aşchiere sau forţa de aşchiere.

Observaţie. Determinarea tuturor coeficienţiilor de corecţie şi a parametrilor necesari stabilirii condiţiilor de lucru la rabotare se face folosind Manualul Inginerului Mecanic volumele I,II şi III şi normative corespunzătoare.

8.7.6. Tipuri de prelucrări executate pe maşinile de rabotat

Prelucrarea prin rabotare se foloseşte în producţia individuală sau de serie mică, la prelucrarea suprafeţelor plane (orizontale, verticale sau înclinate), la prelucrarea suprafeţelor profilate şi chiar la prelucrarea suprafeţelor cilindrice.

Cele mai des întâlnite prelucrări prin rabotare sunt:

- *prelucrarea suprafeţelor plane orizontale* (fig. 8.147), care se face cu ajutorul cuţitelor drepte sau cotite. Prelucrarea de finisare se face cu cuţite late de finisat. Direcţia tăişului principal al cuţitului trebuie să fie paralelă cu direcţia de avans, în caz contrar suprafaţa prelucrată va avea rugozitatea mai mare;

- *prelucrarea suprafeţelor plane verticale*, care se face cu ajutorul cuţitelor drepte sau încovoiate, suportul cuţitului înclinindu-se cu α_i = 10...20^o faţă de axa saniei port - cuţit (fig. 8.159. a), pentru a permite ridicarea cuţitului de pe suprafaţa prelucrată;

- *prelucrarea suprafeţelor plane înclinate*, carese realizează cu ajutorul cuţitelor drepte sau înclinate, prin rotirea saniei port-cuţit, astfel ca direcţia de avans să fie paralelă cu suprafaţa prelucrată (fig. 8.159. b), sau prin combinarea avansului orizontal f_o cu cel vertical f_v (fig. 8.19. c), astfel încât avansul rezultant f_r să fie înclinat cu unghiul α_i, egal cu unghiul de înclinare al suprafeţei prelucrate;

- *prelucrarea canalelor în T*, care se realizează în mai multe faze, folosind mai multe tipuri de cuţite (fig. 8.150. a);

- *prelucrarea canalelor de pană*, care se face cu cuțite cu cap îngustat, la care lungimea tăişului principal trebuie să fie egală cu lățimea canalului. În cazul când lățimea canalului este mai mare, prelucrarea se face din mai multe treceri (fig. 8.159. d);

- *prelucrarea danturii la cremaliere*, care se realizează cu ajutorul cuțitelor profilate (fig. 8.150. b). Divizarea se poate face direct, folosind tamburul gradat al şurubului conducător al saniei transversale sau folosind dispozitive speciale de divizare, montate pe traversă;

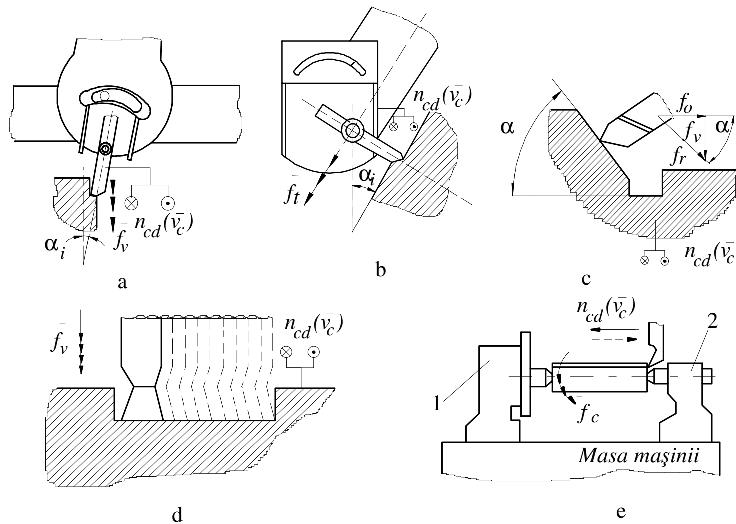


Fig. 8.159. Prelucrări efectuate prin rabotare:
a - suprafețe plane verticale; b; c - suprafețe plane înclinate; d - canale de pană; e - arbori canelați: 1 - cap divizor; 2 - păpuşă mobilă ; $\bar{v}_c$ – viteza mişcării principale de aşchiere; n_{cd} – număr de curse duble pe minut; α_i – unghiul de înclinare a suportului cutitului; $f_v; f_t; f_r; f_c$ – avans vertical şi respectiv transversal, radial şi circular.

- *prelucrarea arborilor canelați*, care se realizează folosind un cap divizor 1 şi o păpuşă mobilă 2, în vârful cărora se prinde semifabricatul (fig. 8.159. e);

- *prelucrarea canalelor de pană interioare* care se realizează fixând scula într-un suport care îi permite trecerea prin alezajul butucului.

8.8. PRELUCRAREA PRIN MORTEZARE

8.8.1. Definire. Scheme de principiu

Mortezarea este procedeul de prelucrare prin aşchiere, care se realizează

prin combinarea mişcării principale de aşchiere totdeauna de translaţie, verticală, rectilinie-alternativă şi totdeauna executată de sculă, cu mişcarea de avans intermitent, executată de piesa - semifabricat.

Schema de principiu a procedeului se prezintă în figura 8.160.

Mortezarea este asemănătoare cu rabotarea, atât prin modul de generare a suprafeţelor, cât şi prin modul de comportare a sculelor faţă de fenomenele ce însoţesc procedeul de aşchiere.

Principalele caracteristici ale procedeului sunt:

- mişcarea principală de aşchiere executată numai de scula aşchietoare şi care este o mişcare de translaţie în plan vertical (rectilinie - alternativă);
- aşchierea desfăşurată doar în perioada cursei active (C_a);
- mişcarea de avans realizată intermitent la capătul cursei de mers în gol;
- aşchierea produsă cu şoc, într-un singur sens al mişcării principale;

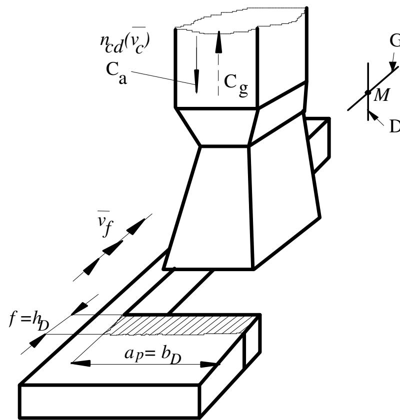


Fig. 8.160. Schema de principiu a procedeului de mortezare:
n_{cd} - numărul de curse duble; v_c - viteza mişcării principale de aşchiere; C_a - cursa activă; C_g - cursa de mers în gol;
G - generatoarea; D - directoarea; h_D - grosimea aşchiei; b_D – lăţimea aşchiei;
f - avansul de aşchiere; a_p - adâncimea de aşchiere.

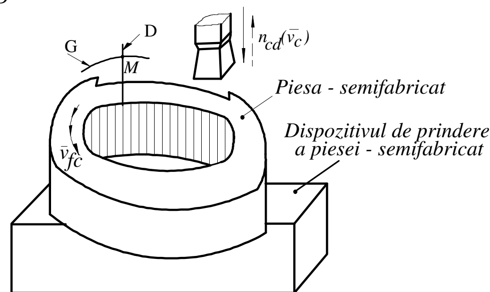


Fig. 8.161. Generarea suprafeţelor prin metoda generatoarei cinematice circulare.

- utilizează scule simple, cu o singură muchie aşchietoare principală şi mai multe muchii de achiere secundare.

8.8.2. Generarea suprafeţelor prin mortezare

Prin mortezare se pot genera suprafeţe plane verticale şi înclinate, suprafeţe profilate, şi folosind dispozitive adecvate (mese rotitoare) chiar suprafeţe

de rotație. În majoritatea cazurilor directoarea D este rectilinie și se realizează pe cale cinematică.

Generatoarea G poate fi realizată prin mai multe metode:

- *metoda generatoarei cinematice*, caz în care generatoarea se realizează ca traiectorie a punctului M de pe tăișul sculei (fig. 8.160), în mișcarea sa după o dreaptă paralelă cu mișcarea de avans intermitent. Realizarea unei generatoare circulare este posibilă prin folosirea unei mese rotitoare (fig. 8.161), care să rotească semifabricatul în jurul unei axe ce trece prin centrul cercului ce constituie generatoarea;

- *metoda generatoarei materializate*, care este folosită la realizarea unor suprafețe complicate. În acest caz generatoarea este materializată de muchiile așchietoare ale cuțitului de mortezat. Prelucrarea canelurilor butucului canelat (fig. 8.162. a) și a unor suprafețe profilate (fig. 8.162. b) presupune cuțite de mortezat cu muchii așchietoare corespunzătoare, ce materializează generatoarea G.

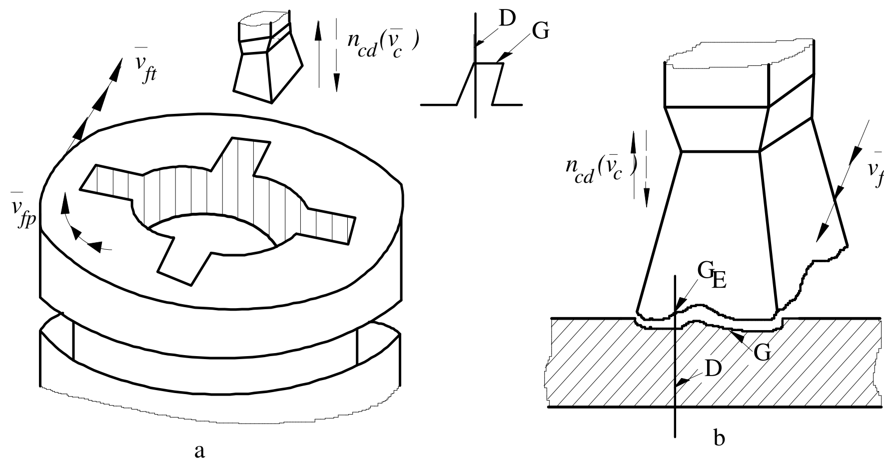


Fig. 8.162.Generarea suprafețelor prin metoda generatoarei materializate:
a - în cazul prelucrării unor caneluri interioare; b - în cazul prelucrării unor suprafețe complicate:
$\bar{v}_{ft}$ - viteza avansului transversal; $\bar{v}_{fp}$ - viteza mișcării de poziționare.

8.8.3. Geometria sculelor așchietoare. Tipuri de scule

Cuțitele de mortezat se deosebesc de cuțitele de strunjit și rabotat prin existența a două tăișuri secundare 1 (fig. 8.163. a), două suprafețe de așezare secundare 2, două vârfuri 3, precum și prin forma constructivă. Unghiurile de formă și funcționale se definesc la fel ca la cuțitele de rabotat, cu deosebirile prezentate în figura 8.163. b. Deoarece în timpul prelucrării sunt supuse la solicitări prin șoc, aceste cuțite trebuie să fie construite mai robust.

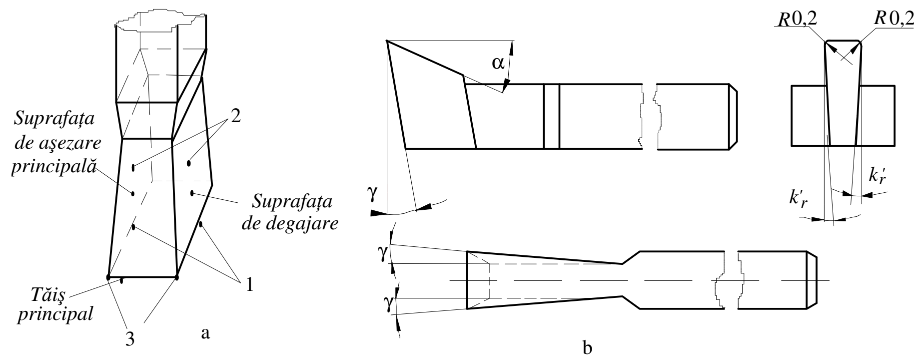


Fig. 8.163. Geometria sculei aşchietoare folosită la mortezare:
a - construcţia părţii active; b - unghiurile părţii active: α - unghiul de aşezare principal; γ - unghiul de degajare; k'_r - unghiul de atac secundar; 1 - tăişurile secundare; 2 - suprafeţe de aşezare secundare; 3 - vârful tăişului.

8.8.4. Maşini unelte şi dispozitive specifice la prelucrarea prin mortezare

Operaţia de mortezare se execută pe maşini-unelte numite *morteze*. Morteza este o maşină-unealtă universală, folosită în producţia de unicate sau serie mică, în ateliere de sculărie, de reparaţii şi întreţinere, de confecţionare ştanţe şi matriţe etc.

Din punct de vedere constructiv maşinile de mortezat pot fi:

- *cu capul înclinabil lateral*, care permit înclinarea berbecului cu un unghi $\alpha_i \leq \pm 30^o$, prin intermediul capului rotitor;
- *cu capul deplasabil vertical;*
- *speciale,* destinate lucrărilor de mortezat cu regim greu de aplicat pieselor mari.

Schema de principiu a unei maşini de mortezat cu cap înclinabil lateral se prezintă în figura 8.164. Scula aşchietoare se montează pe berbecul 1, fixat pe capul 2, al maşinii. Capul se poate înclina în faţă cu 12^o şi lateral cu $\pm 30^o$, aşa încât se pot executa suprafeţe înclinate şi chiar roţi dinţate. Mişcarea de rotaţie a motorului MEA_1 este transformată în mişcare rectilinie alternativă a berbecului, printr-un mecanism cu bielă 3, diferitele valori ale vitezei de deplasare a sculei obţinându-se datorită cutiei de viteze CV. Realizarea mişcărilor de avans ale piesei de prelucrat, fixată pe masa maşinii 4, se face cu motorul electric MEA_2, cutia de avansuri CA şi o serie de mecanisme de tip şurub-piuliţă 5 şi 6. Mişcările de avans (longitudinal, transversal sau circular) sunt intermitente şi dependente de mişcarea principală, executându-se la capătul fiecărei curse de mers în gol. Mişcarea este preluată de axul 7, al discului de antrenare 8 al berbecului, prin intermediul camei 9, şi tramsmisă mai departe prin sistemul de pârghii 10 - 11- 12, la mecanismul cu clichet 13 - 14 şi elementele de antrenare 15 - 16. De aici mişcarea ajunge la

şurubul longitudinal 6 (avansul longitudinal f_l), la şurubul transversal 5, (avansul transversal f_t) sau la mecanismul melc-roată melcată 17- 18 (avansul circular).

Caracteristica principală a mortezelor este lungimea *L* a cursei maxime a berbecului, care poate fi între 100...2 500 mm. Dispozitivele şi accesoriile specifice maşinilor de mortezat sunt asemănătoare cu cele de la maşinile de rabotat.

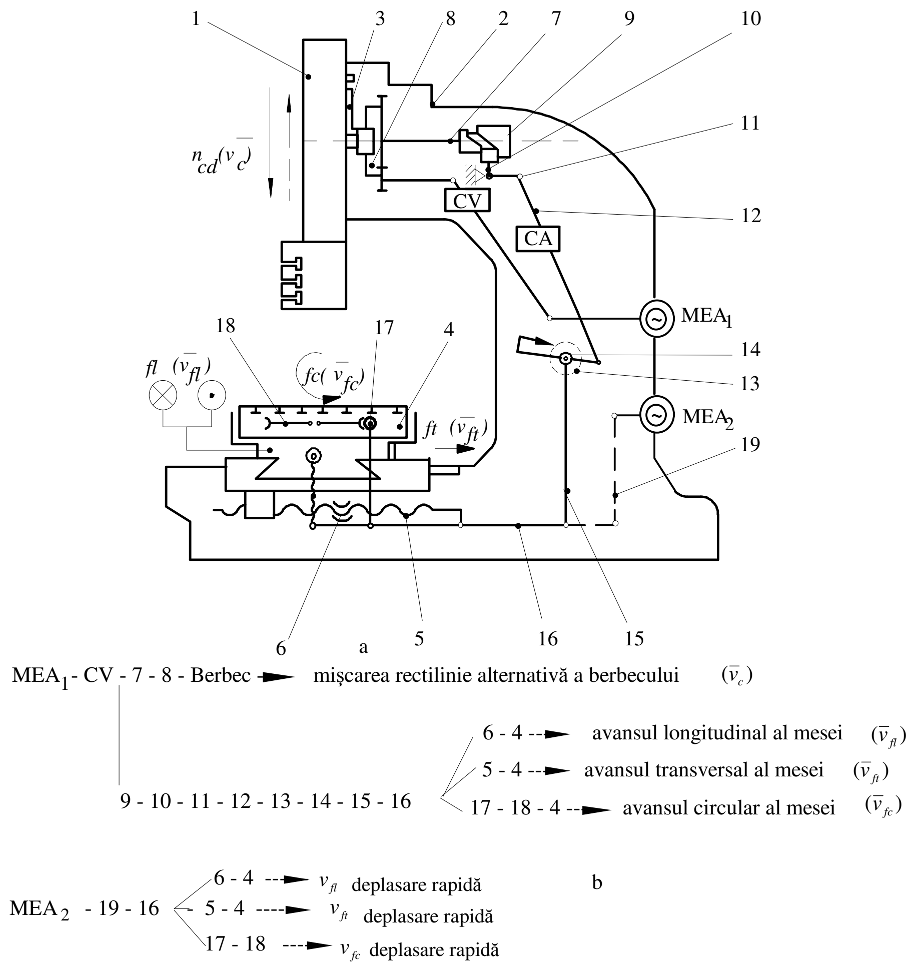


Fig. 8.164. Schema de principiu a unei maşini de mortezat:
a - cinematica structurală de principiu; b - schema fluxului cinematic: 1 - berbecul maşinii; 2 - capul maşinii de mortezat; 3 - mecanism bielă - manivelă; 4 - masa maşinii de mortezat; 5, 6 - mecanisme şurub - piuliţă; 7 - ax; 8 - disc de antrenare; 9 - camă; 10, 11, 12 - sistem de pârghii articulate; 13, 14 - mecanism cu clichet; 15, 16 - elemente de transmitere a mişcării; 17, 18 - mecanisme melc - roată melcată; 19 - element de transmitere rapidă a mişcării de la motorul electric asincron MEA_2 la masă fără cuplarea cutiei de avansuri CA; CV - cutie de viteze.

8.8.5. Stabilirea condițiilor de lucru la mortezare

În principiu, condițiile de lucru la mortezare se stabilesc în mod similar ca la rabotare, având totuşi în vedere faptul că scula este puternic solicitată şi are secțiunea periculoasă mai mică. De aceea se aleg regimuri de aşchiere mai puțin dure decât cele de la rabotare.

Parametrii principali ai regimului de aşchiere sunt:

- *adâncimea de aşchiere* a_p, care este în general egală cu lățimea cuțitului sau mai mică (în cazul generării suprafețelor circulare);

- *avansul de generare* f, care se corelează cu adâncimea de aşchiere şi se alege din tabele sau nomograme, întocmite în funcție de secțiunea sculei, tipul materialului de prelucrat şi al suprafeței mortezate, de rigiditatea sistemului tehnologic şi de rugozitatea suprafeței prelucrate;

- *viteza de aşchiere* v_c, care se calculează cu relația:

$$v_c = \frac{C_v}{T^m \cdot a_p^{x_v} \cdot f^{y_v}} k_v \quad , \tag{8.174}$$

în care C_v; k_T; m; x_v; y_v sunt coeficienți de corecție aleşi în funcție de condițiile concrete de aşchiere, materialul de prelucrat şi materialul sculei, tipul suprafeței prelucrate (plană, canale, profilată) şi starea suprafeței de prelucrat; T - durabilitatea sculei aşchietoare care se alege din tabele (T = 60...240 minute); a_p - adâncimea de aşchiere; f - avansul de generare.

Ca şi la rabotare, la mortezare, viteza variază de la o valoare maximă la valoarea $v_c = 0$, după o lege care depinde de tipul mecanismului de realizare a mişcării principale. Viteza medie v_m se calculează şi la mortezare cu relația:

$$v_m = \frac{Ln_{cd}}{1000}\left(1 + \frac{1}{k}\right) \text{ [m/min]} \quad , \tag{8.175}$$

în care L este lungimea cursei de lucru, în mm; n_{cd} - numărul de curse duble pe minut; $k = v_g / v_a$ (v_g - viteza de mers în gol; v_a - viteza de lucru).

Din relația (8.175) se poate determina numărul de curse duble pe minut, n_{cd}, cu relația:

$$n_{cd} = \frac{1000 v_m}{L\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad . \tag{8.176}$$

Se alege apoi $n_{cd,real}$ realizabil pe maşină şi se calculează viteza medie reală şi pierderile de viteză.

- *forțele şi puterea consumată la mortezare*, care se calculează în mod similar ca la rabotare.

8.8.6. Tipuri de prelucrări executate pe maşinile de mortezat

Posibilitățile de lucru pe maşinile de mortezat sunt mai mari decât la şepinguri, datorită înzestrării acestora cu masă *rotitoare divizoare.* Câteva exemple de suprafețe prelucrate prin mortezare se prezintă în figura 8.165.

Întrucât capul cuțitului are o poziție paralelă cu direcția mişcării principale, mortezarea se aplică mai ales în cazul necesității prelucrării unor suprafețe profilate interioare (canale de pană, caneluri, roți dințate interioare, locaşuri prismatice etc.).

Operația de mortezare este puțin productivă şi de precizie mică, de aceea în producția de serie şi masă este înlocuită de operația de broşare.

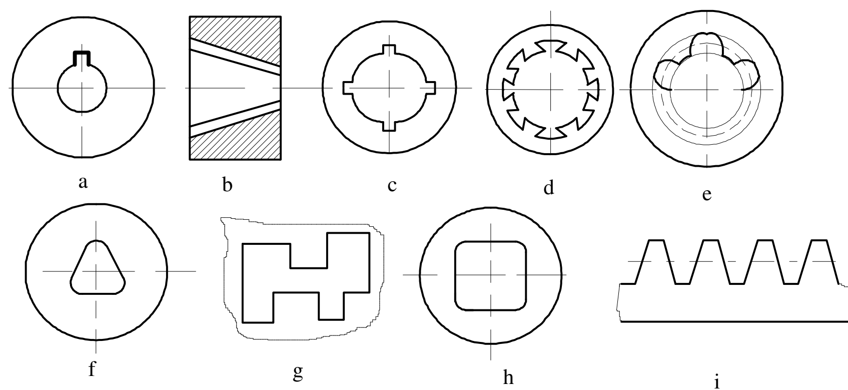


Fig. 8.165. Exemple de suprafețe prelucrate prin mortezare:
a - canal de pană interior; b - canal înclinat pentru pană; c - caneluri interioare; d - arbore canelat interior; e - dantură interioară; f; h - locaşe prismatice; g - suprafață profilată; i - cremalieră.

8.9. PRELUCRAREA PRIN FREZARE

8.9.1. Definire. Scheme de principiu

Frezarea este procedeul de prelucrare prin aşchiere rezultat din combinarea unei mişcării principale de aşchiere totdeauna de rotație, totdeauna executată de sculă cu mişcări de avans rectiliniu, circular sau combinat, *executate de piesă şi/sau sculă.*

Frezarea este procedeul de prelucrare prin aşchiere a suprafețelor exterioare sau interioare, profilate sau neprofilate, efectuat cu ajutorul unor scule aşchietoare, prevăzute cu mai multe tăişuri, numite freze. Freza face parte din categoria sculelor aşchietoare cu mai mulți dinți, montați pe un corp de revoluție cilindric sau conic. Pentru generarea suprafețelor prin frezare, sunt necesare o mişcare de rotație *n*, care reprezintă mişcarea principală şi care aparține frezei

(fig. 8.166), şi mişcări de avans rectiliniu sau circular. Mişcarea de avans director sau longitudinal $\bar{v}_{fu}$ ($\bar{v}_{fl}$) corespunde avansului director *u* şi se produce într-un plan normal pe axa de rotaţie a sculei (spre deosebire de sculele folosite la găurire la care direcţia avansului este coaxială cu axa sculei).

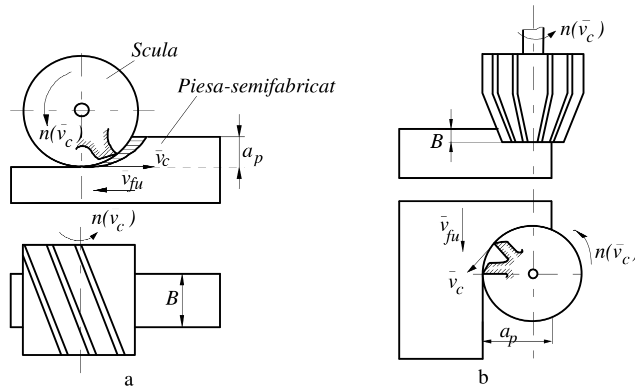


Fig. 8.166. Schema de principiu a frezării:
a - cu freze cilindrice; b - cu freze cilindro-frontale; a_p - adâncimea de aşchiere; *B* - lăţimea de frezare; v_{fu} - viteza avansului director; *n* – turaţia sculei aşchietoare; $\bar{v}_c$ - viteza mişcării principale de aşchiere.

8.9.2. Generarea suprafeţelor prin frezare

După modul cum se realizează generarea suprafeţelor se disting:

- *frezarea cu periferia (partea cilindrică) a frezei* (fig. 8.166. a). În acest caz iau parte la aşchiere numai tăişurile de pe periferia cilindrică a sculei, iar scula nu are tăişuri secundare. Directoarea suprafeţei prelucrate se realizează ca înfăşurătoare a poziţiilor succesive al unei curbe şi este paralelă cu axa de rotaţie a sculei (vezi paragraful 8.2);

- *frezarea cu partea cilindrică şi frontală a sculei* (fig. 8.166. b). În acest caz iau parte la aşchiere şi tăişurile secundare de pe partea frontală. Directoarea suprafeţei se realizează ca înfăşurătoare a poziţiilor succesive ale unei curbe şi este perpendiculară pe axa sculei.

Din punct de vedere al direcţiilor celor două mişcări de aşchiere se deosebesc două metode de frezare:

- *frezarea în contra avansului* (fig. 8.167. a), la care vectorul mişcării principale $\bar{v}_c$ este de sens opus vitezei de avans $\bar{v}_{fl}$. În acest caz, grosimea aşchiei h_φ este variabilă, crescând de la zero ($\varphi = 0$) la valoarea maximă.

Componenta orizontală $\overline{F_h}$ a forţelor de aşchiere se opune mişcării de avans, preluând jocurile din mecanismele lanţului cinematic de avans (*j*=0), deci

reduce vibrațiile şi creşte calitatea prelucrării. Componenta verticală $\overline{F_v}$ tinde să scoată piesa din dispozitiv şi să ridice masa maşinii de pe ghidajele sale;

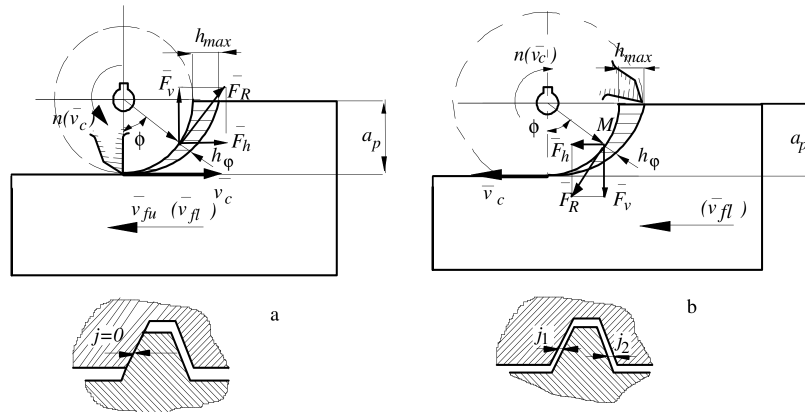


Fig. 8.167. Diferite metode de frezare:
a - în contra avansului; b - în sensul avansului; *n* – turatia sculei aschietoare; $\overline{v}_{fu}(\overline{v}_{fl})$ - viteza mişcării de avans pe dinte (longitudinal); h_φ - grosimea aşchiei; h_{max} - grosimea maximă aşchiei; $\overline{F_v}$ - componenta verticală a forței de aşchiere.

- *frezarea în sensul avansului* (fig. 8.167. b), la care vectorul mişcării principale $\overline{v}_c$ este în acelaşi sens cu vectorul vitezei de avans $\overline{v}_{fl}$. În acest caz dintele aşchietor pătrunde în aşchie la grosimea maximă, deci cu şocuri şi uzură mai rapidă. Componenta orizontală $\overline{F_h}$ a forțelor de aşchiere este în sensul avansului şi nu poate prelua jocurile din lanțul cinematic ($j \neq 0$), dar componenta verticală $\overline{F_v}$ apasă piesa pe masa maşinii, fiind favorabilă unei bune funcționări a maşinii -unelte.

Alegerea metodei de frezare se face ținând cont, de la caz la caz, de avantajele şi dezavantajele pe care le au cele două metode: frezarea în contra avansului se aplică, de obicei, la degroşarea semifabricatelor care au crustă dură (turnate, deformate), iar frezarea în sensul avansului se aplică, de obicei, la finisarea semifabricatelor de grosime mică, ce se prind mai dificil pe maşinile de frezat.

8.9.3. Geometria sculelor aşchietoare.Tipuri de scule

Scula folosită la frezare poartă numele de *freză.* Oricare sculă este formată din partea aşchietoare 1 (fig. 8.168), care poartă dinții aşchietori, corpul frezei 2 şi alezajul 3 sau coada, pentru fixarea frezei pe maşina-unealtă.

Fig. 8.168. Elementele constructive ale sculei aşchietoare:
1 - partea aşchietoare; 2 - corpul sculei; 3 - partea de fixare; *f* - faţeta dinţilor; *p* - pasul dinţilor; δ - pasul unghiular; *h* - înălţimea dinţilor; *r* - raza de racordare a canalelor dinţilor; *d* - diametrul sculei.

Elementele ce caracterizează mărimea dinţilor şi a canalelor sunt*:* pasul dinţilor *p*, pasul unghiular δ, înălţimea dintelui *h,* lăţimea faţetei *f* şi raza de racordare a canalelor *r*.

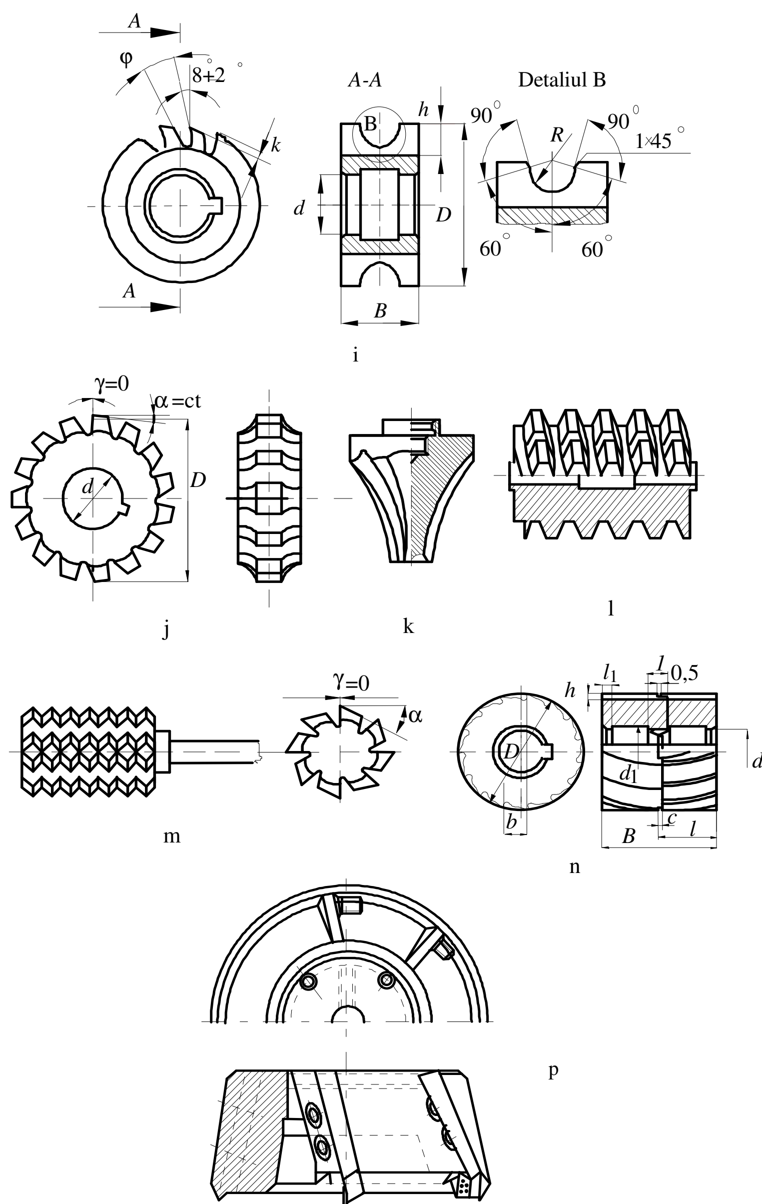


Fig. 8.169. Principalele tipuri de freze:
a - cilindrică; b - cilindro-frontală; c; d - deget cilindrice; e - pentru canale; f - disc; g - ferestrău; h - frontală; i - disc pentru canale; j - disc - modul pentru roți dințate; k - deget - modul pentru roți dințate; l - melc - modul pentru roți dințate; m - pentru filetare; n - joc de freze; p - frontală armată cu dinți amovibili.

Principalele tipuri de freze folosite la prelucrarea prin frezare se clasifică după mai multe criterii:

- *după natura construcţiei:* freze monobloc (fig. 8.169. a,…,m) şi freze cu dinţi demontabili (fig. 8.169. p);

- *după construcţia dinţilor:* freze cu dinţi frezaţi (fig. 8.169. c) şi freze cu dinţi detalonaţi (fig. 8.169. d);

- *după modul de fixare:* freze cu alezaj (fig. 8.169. a. b), freze cu coadă cilindrică (fig. 8.169. c, d) sau conică (fig. 8.169. e);

- *după forma geometrică:* freze cilindrice (fig. 8.169. a), cilindro-frontale (fig. 8.169. b), freze disc (fig. 8.169. f, g), freze unghiulare (fig. 8.169. h), freze profilate (fig. 8.169. i,...,m), freze profilate pentru filete (fig. 8.169. m), freze disc-modul (fig. 8.169. j) freze deget-modul (fig. 8.169. k), freze melc-modul (fig. 8.169. b);

- *după direcţia dinţilor:* freze cu dinţi drepţi (fig. 8.169. f) şi freze cu dinţi elicoidali (fig. 8.169. a, b).

Dinţii frezelor pot fi consideraţi, din punct de vedere al parametrilor geometrici, ca şi cuţitele de strung. Stabilirea geometriei frezelor se face pentru cele două cazuri distincte: freza cilindrică (fig. 8.170. a) şi freza cilindro-frontală (fig. 8.170. b).

La freza cilindrică, dinţii frezei sunt elicoidali, unghiul de înclinare a elicei dinţilor ω este chiar unghiul de înclinare al tăişului. Într-o secţiune oarecare *y - y* sau *N- N* apar unghiurile de aşezare α_y, α_n şi respectiv unghiurile de degajare γ_y, γ_N. La freza cilindro-frontală cu dinţi înclinaţi (fig. 8.170. b) unghiul de înclinare a elicei dinţilor ω corespunde unghiului de înclinare a muchiei λ_s. Parametrii geometrici ai frezei sunt raportaţi la sistemul de referinţă constructiv al cuţitului *xVy*, care reprezintă dintele frezei şi sistemul de referinţă constructiv al frezei *XVY*. Datorită poziţiei celor două sisteme de referinţă există identităţile: $Vx \equiv VY$ şi $Vy \equiv VX$. Tăişul principal al frezei cuprinde o porţiune frontală *VA* cu un unghi k_r şi o porţiune cilindrică *AC* cu un unghi $k_r = 90^o$.

Porţiunea frontală este împărţită în două porţiuni VA_1 cu unghiul k_{ro} şi porţiunea A_1A cu unghiul k_r (vezi detaliul *V*). În secţiunea N_F pe muchia aparentă a tăişului frontal *VA,* ce trece prin punctul curent *M*, apar unghiurile de aşezare α_{nf} şi unghiurile de degajare γ_{nf} . În secţiunile cu planele principale *X - X* şi *Y- Y*, apar unghiurile de degajare γ_x şi γ_y, respectiv unghiurile de aşezare α_x şi α_y. Într-o secţiune prin punctul curent M_1, de pe porţiunea cilindrică a tăişului principal, apar unghiurile de degajare γ_{n1} şi γ_{y1}, respectiv unghiurile de aşezare α_{n1} şi α_{y1}. Tăişul secundar *KB* sub unghiul de atac secundar k'_r influenţează direct rugozitatea suprafeţelor frezate.În procesul de aşchiere valoarea unghiurilor constructive se modifică datorită mişcărilor de aşchiere. Oricare freză este caracterizată de următoarele elemente geometrice şi constructive: diametrul exterior, *d*; numărul de dinţi ai frezei, *z*; pasul unghiular al frezei, $\delta = 2\pi /z$; pasul circular, $p_c = \pi \cdot d/z$; pasul

axial, $p_{ax} = p_c$ / tg ω; pasul normal, $p_n = p_c$ cosω; unghiul de înclinare a elicei dinţilor, ω (tgω = π d/z p_{ax}).

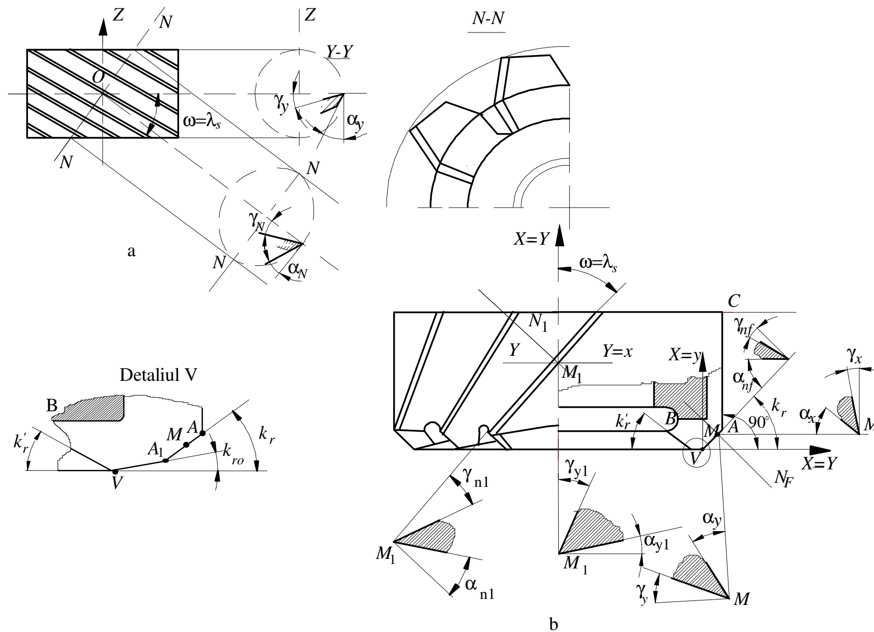


Fig. 8.170. Geometria frezelor:
a - cilindrice; b - cilindro-frontale; α - unghiul de asezare; γ - unghiul de degajare; k_r - unghiul de atac principal; k'_r - unghiul de atac secundar; λ_s - unghiul de înclinare al tăişului; ω - unghiul de înclinare al elicei dinţilor.

Majoritatea tipurilor constructive de freze şi a elementelor sistemelor de fixare a acestora pe maşinile de frezat sunt standardizate.

8.9.4. Maşini – unelte şi dispozitive specifice folosite la prelucrarea prin frezare

8.9.4.1. Maşini de frezat

Maşinile de frezat fac parte din categoria celor mai productive maşini-unelte şi cu cea mai largă răspândire, după strunguri.

Clasificarea maşinilor de frezat se poate face după mai multe criterii, dar cel mai reprezentativ îl constituie varianta constructivă. Din acest punct de vedere se deosebesc: maşini de frezat cu consolă orizontale, verticale sau universale; maşini de frezat longitudinal; maşini de frezat plan; maşini de frezat circular; maşini de frezat speciale (pentru frezat filete, copiere, canale de pană, roţi dinţate

cilindrice şi conice, cremaliere etc.).

Maşinile de frezat cu consolă sunt destinate prelucrării pieselor mici şi mijlocii, în timp ce maşinile de frezat longitudinal sau plan prelucrează de obicei piese mai mari, cu configuraţie complexă.

Maşinile de frezat circular sunt destinate fie prelucrării pieselor mari, având suprafeţe plane şi profilate, fie prelucrării simultane a suprafeţelor plane ale mai multor piese mici, cu o mişcare de avans circular continuu.

Maşinile de frezat longitudinal, plan sau *circular*, lucrează cu freze cilindro-frontale de dimensiuni mari, cu dinţi aplicaţi şi în anumite cazuri cu freze cilindrice şi jocuri de freze, în vederea realizării unor productivităţi şi precizii mari ale prelucrărilor.

În industrie, cele mai des utilizate sunt *maşinile de frezat cu consolă universale*. Schema de principiu a unei maşini de frezat universală cu consolă este prezentată în figura 8.171. Mişcările necesare generării suprafeţelor prin frezare pe această maşină se realizează cu următoarele lanţuri cinematice:

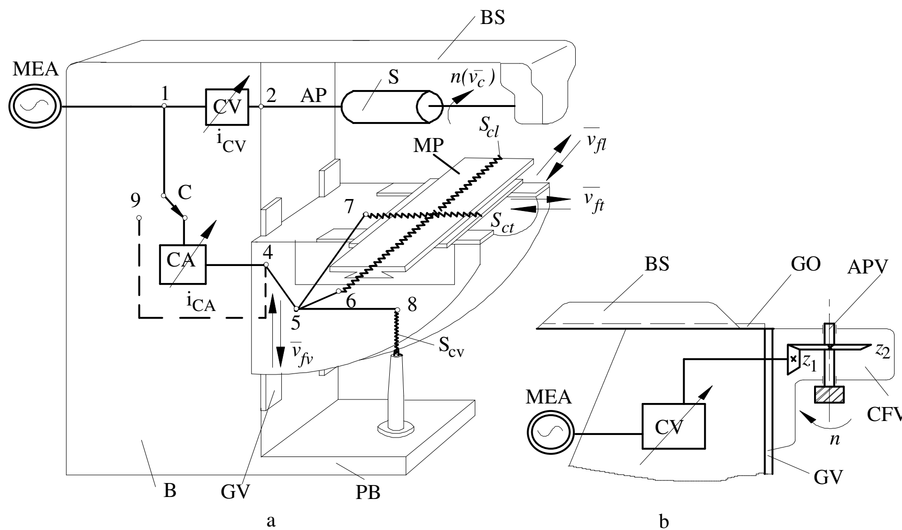


Fig. 8.171. Schema de principiu a unei maşini de frezat universală cu connsolă: a - schema structurală cinematică de principiu; b - montarea capului de frezat vertical: B - batiu; PB - placă de bază; GV - ghidaje verticale; AP - ax principal; *S* - sculă; BS - braţul suport; CV - cutia de viteze; CA - cutia de avansuri; GO - ghidaje orizontale; CFV - cap de frezat vertical; APV - ax principal vertical; S_{cl}, S_{ct}, S_{cv} - şurubul conducător al mesei longitudinale, respectiv transversale şi verticale; 1, 2, 3,…, 9 - mecanisme de transmitere a mişcării; *n* – turaţia sculei aschietoare S; $\overline{v}_c$ - viteza mişcării principale de aşchiere ; $\overline{v}_{fl};\overline{v}_{ft};\overline{v}_{fv}$ - viteza mişcării de avans longitudinal, respectiv transversal şi vertical.

- MEA - 1 - CV - 2 - AP – S-n (v_c) - lanţul cinematic principal;

- MEA -1 - C - CA - 4 - 5 - 6 - S_{cl} (v_{fl}) - lanţul cinematic de avans longitudinal;

- MEA - 1 - C - CA - 4 - 5 - 7 - S_{ct} (v_{fT}) - lanţul cinematic de avans transversal;

- MEA - 1 - C - CA - 4 - 5 - 8 – S_{cv} (v_{fv}) - lanţul cinematic de avans vertical;

Pentru deplasările rapide pe cele trei direcţii, se scurtcircuitează cutia de avansuri CA prin comutatorul C, fluxul mişcării fiind MEA - 1 - 9 - 4 - 5, după care urmează aceleaşi ramificaţii.

Părţile componente de bază ale maşinii universale de frezat sunt: placa de bază PB, pe care este montat batiul B al maşinii, în interiorul acestuia fiind cutia de viteze CV şi de avansuri CA, acţionate de motorul electric MEA. De la cutia de viteze, axul principal AP primeşte mişcarea principală *n* şi o transmite sculei S, ce se fixează pe un dorn port-sculă susţinut de braţul suport BS. Semifabricatul se prinde pe masa MP a maşinii care poate executa mişcarea de avans longitudinal, transversal şi vertical. Pentru funcţionarea ca maşină de frezat verticală, braţul suport BS se deplasează la stânga, pe ghidajele orizontale GO, iar pe ghidajele verticale GV (fig. 8.171, b) se montează capul de frezare vertical CFV, care preia mişcarea de la axul principal al maşinii şi o transmite prin intermediul unui angrenaj conic z_1/z_2, la axul port-sculă vertical APV.

Pentru prelucrarea prin frezare a pieselor de dimensiuni mari şi pentru o productivitate mare se folosesc maşinile de frezat longitudinal, care pot fi cu masa fixă sau cu masa mobilă.

Schema de principiu a unei *maşini de frezat longitudinal cu masa mobilă* se prezintă în figura 8.172. Părţile componente principale sunt: batiul fix BF, masa mobilă ML, coloanele de ghidare CG, traversa fixă TF, traversa mobilă TM, patru capete de frezat CF_1...CF_4 independente, fiecare având cutie de viteze separată CV_1…CV_4. Mişcările organelor de execuţie care se obţin la această maşină sunt: mişcarea principală $n(\overline{v}_c)$; mişcarea de avans longitudinal al mesei $\overline{v}_{fl}$, mişcarea de avans vertical al capetelor de frezat orizontale $\overline{v}_{fv}$, mişcarea de avans orizontal al capetelor de frezare verticale $\overline{v}_{fo}$, mişcarea de reglare în sens axial a pinolelor de reglare $\overline{v}_{rax}$ şi mişcarea de înclinare a capetelor verticale $\overline{v}_i$ (fig. 8.172).

Lanţul cinematic de avans longitudinal al mesei este acţionat de motorul MEA_1 şi reglat prin cutia de avansuri CA_1, în timp ce lanţurile cinematice de avans ale capetelor de frezare sunt acţionate de la motorul MEA'_1 şi reglate prin cutia de avansuri CA_2.

Maşinile de frezat cu destinaţie specială sunt folosite în producţia de serie mare şi masă, datorită faptului că sunt limitate la prelucrarea anumitor produse şi deci sunt maşini de mare productivitate.

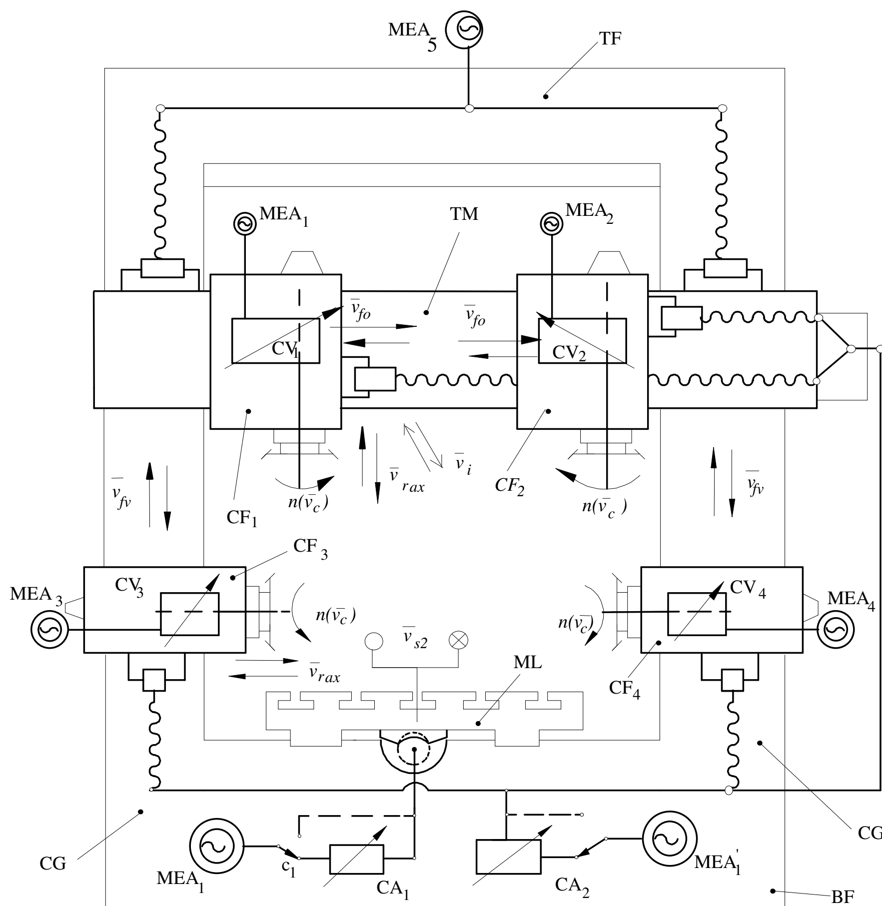


Fig. 8.172. Schema cinematică de principiu a unei mașini de frezat longitudinală cu masă mobilă: BF - batiu fix; CG - coloane de ghidare; TF - traversa fixă; TM - traversa mobilă; CF_1,…, CF_4 - capete de frezat; ML - masa maşinii de frezat; CV_1, …, CV_4 - cutii de viteze; CA_1,…, CA - cutii de avansuri; MEA; MEA', MEA_1 …..MEA_5 – motoare electrice de actionare; 1...13 – mecanisme de transmisie a mişcării; S_1/p_1,…,S_6/p_6 – mecanisme şurub piuliţă de transformare a mişcării.

8.9.4.2. Dispozitive specifice prelucrării prin frezare

Acestea se împart în două mari grupe:

- *dispozitive normale (universale)*, ce fac parte din trusa oricărei maşini de frezat şi cuprind dispozitivele folosite la prinderea sculei şi a semifabricatului (bride de fixare, menghine cu şurub sau hidraulice, masă turnantă şi înclinabilă, universal de prindere, mese rotitoare etc.);

- *dispozitive specifice:* capul divizor, capul de frezat universal, capul de frezat vertical, capul de mortezat, masa circulară etc.

Capul divizor este un dispozitiv special, care permite realizarea divizării (împărțirea într-un anumit număr de părți, de obicei egale, în sens circular sau în sens rectiliniu). În funcție de modul de reglare şi construcție, capetele divizoare pot fi: *cu discuri, cu roți dințate* şi *optice,* iar după posibilitățile de utilizare sunt: *simple, semiuniversale* şi *universale.*

Cel mai răspândit este *capul divizor universal cu discuri* (fig. 8.173. a) format din angrenajele melc-roată melcată k_1/z_1, (melcul este fix pe axul I), mecanismul de reglare (discul cu găuri D), maneta de natrenare m, cuiul de fixare C, opritorul aşezat în poziția dorită O şi angrenajul conic z_3/z_4 . Roata melcata z_1 este solidară cu axul II, la capătul căruia este fixată piesa ce trebuie divizată circular în z_D părți egale.

Divizarea indirectă se realizează prin rotirea manetei *m* peste k_D găuri ale unui anumit cerc cu găuri al discului *D* (fig.8.173. b) având n_D găuri, în timp ce discul este fix. Funcția de reglare în acest caz rezultă din :

$$\frac{k_D}{n_D} = \frac{C_D}{z_D} \quad , \qquad (8.177)$$

în care $C_D = 1/i_D$ ($i_D = k_1/z_1$ este raportul de transmitere al angrenajului melc-roată melcată).

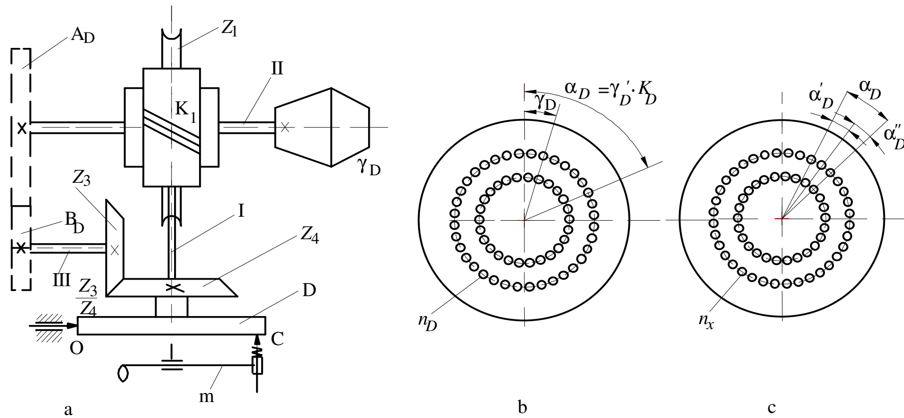


Fig. 8.173. Schema de principiu a capului divizor:
a - construcția capului divizor; I; II; III - axele capului divizor; D - discul divizor; C - cui de fixare; O - opritor; k_1/z_1 - mecanism melc - roată melcată; z_3/z_4 - angrenaj conic; A_D/B_D - roți de schimb; m - manetă de acționare; b - divizarea indirectă simplă; c - divizarea indirectă diferențială.

Divizarea diferențială se aplică atunci când pentru o valoare z_D dată, nu se poate găsi nici o valoare n_D între valorile existente pe discurile capului divizor. Divizarea diferențială constă în realizarea mărimii de intrare α_D ca o însumare algebrică a unghiului α'_D (obținută prin rotirea manetei m prin fața discului cu

găuri pe un cerc cu n'_D găuri, parcurgând k'_D găuri, ceea ce corespunde unei divizări indirecte simple într-un număr oarecare de părţi z_x), cu unghiul α''_D (fig. 8.173. c) realizat prin rotirea simultană a discului D, cu ajutorul roţilor de schimb A_D/B_D, care-i transmit mişcarea de la axul II prin angrenajul conic z_3/z_4. Funcţiile de reglare în acest caz sunt:

$$\frac{k'_D}{n'_D} = \frac{C_D}{z_x}; \quad \frac{A_D}{B_D} = \frac{C_D}{z_x}\left(z_x - z_D\right) \quad , \tag{8.178}$$

în care z_x este un număr arbitrar ($z_x > z_D$ sau $z_x < z_D$), astfel ales încât să permită realizarea unei divizări indirecte şi în acelaşi timp obţinerea roţilor A_D şi B_D cu valori ale numerelor de dinţi existente în trusa capului divizor.

Dacă $z_x > z_D$, între roţile A_D şi B_D trebuie să existe un număr impar de roţi intermediare, iar când $z_x < z_D$, numărul acestora trebuie să fie par.

Capul divizor universal cu roţi dinţate se deosebeşte de cel cu discuri prin lipsa discului cu găuri şi înlocuirea acestuia cu o liră de roţi dinţate de schimb şi un disc cu o singură gaură.

Cu ajutorul capului divizor, pe maşina de frezat se pot executa o serie de generări de suprafeţe specifice:

- *prelucrarea cremalierelor, gradarea riglelor, prelucrarea canalelor echidistante* se face utilizând capul divizor universal cu discuri (fig. 8.174) la care, pe axul principal al acestuia I, se montează una din roţile de schimb A_D , iar cealaltă B_D , angrenând cu prima, se montează pe axul şurubului conducător S_{CL} al mesei;

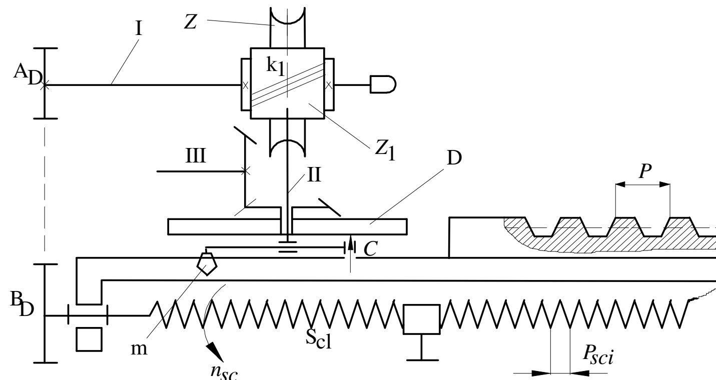


Fig. 8.174. Prelucrarea cremalierelor folosind capul divizor:
A_D; B_D - roţi de schimb; m -maneta de acţionare; S_{cl} - şurubul conducător al mesei; D - discul divizor; C - cui de fixare; p - pasul cremalierei; p_{scl} - pasul şurubului conducător al mesei; I; II; III – axele capului divizor; k_1/z_1 – mecanismul melc –roată melcată.

- *frezarea canalelor elicoidale*, operaţie întâlnită frecvent la prelucrarea canalelor burghielor, frezelor cu dinţi elocoidali, alezoarelor, melcilor, şuruburilor

cu 3 - 4 începuturi etc. Pentru realizarea mişcării pe traiectoria elicoidală, se compune mişcarea de rotaţie a piesei n_p ce se obţine de la şurubul conducător S_{cl} prin intermediul roţilor de schimb A_1/B_1, transmisiile succesive z_3/z_4, discul D şi cuiul C, care joacă rolul de cuplaj cu mişcarea rectilinie de translaţie a mesei de lucru (fig. 8.175).

Masa maşinii se înclină în plan orizontal cu unghiul canalului ω. Roţile de schimb se calculează cu relaţia:

$$\frac{A_1}{B_1} = C_D \frac{p_{Scl}}{p_E} \quad , \qquad (8.179)$$

în care p_E este mărimea pasului traiectoriei elicoidale; $C_D = 1/i_D = 40$; p_{Scl} - pasul şurubului conducător al mesei longitudinale;

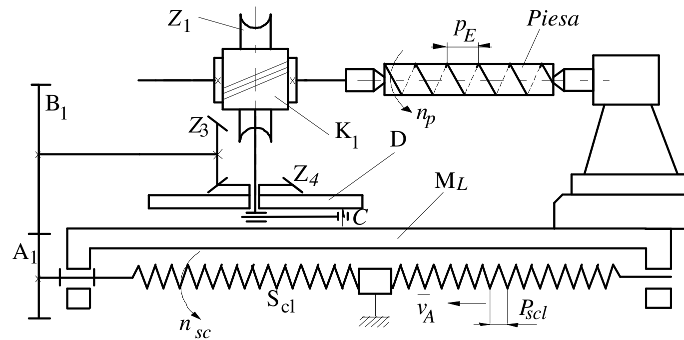


Fig. 8.175. Frezarea canalelor elicoidale:
ML - masa longitudinala a frezei; S_{cl} -şurubul conducător al mesei longitudinale; D - discul divizor; C - cuiul de fixare; A_1/B_1 - roţi de schimb; k_1/z_1 - angrenaj melc - roată melcată; z_3/z_4 - angrenaj conic; n_{sc} – rotaţia şurubului conducător; p_E – pasul traiectoriei elicoidale.

- *frezarea camelor spirale* se face similar cu frezarea canalelor elicoidale. Pe masa maşinii de frezat se aşează capul divizor universal cu axul principal aşezat vertical (fig. 8.176). Piesa de prelucrat primeşte mişcarea de rotaţie n_p, de la şurubul conducător S_{cl} al mesei, prin roţile de schimb A_1/B_1 şi angrenajele aflate în capul divizor. Simultan cu mişcarea de rotaţie piesa împreună cu masa execută şi o mişcare de translaţie, axială $\bar{v}_A$, coordonată cinematic cu prima, astfel încât să se genereze o traiectorie elicoidală plană, cu pasul *H,* ce reprezintă pasul spiralei arhimedice. Roţile de schimb se calculează cu relaţia:

$$\frac{A_1}{B_1} = C_D \frac{p_{SCl}}{H} \quad . \qquad (8.180)$$

- *frezarea danturii roţilor dinţate* se poate face cu ajutorul capului divizor prin metoda copierii, cu freze-disc modul sau cu freze deget modul.

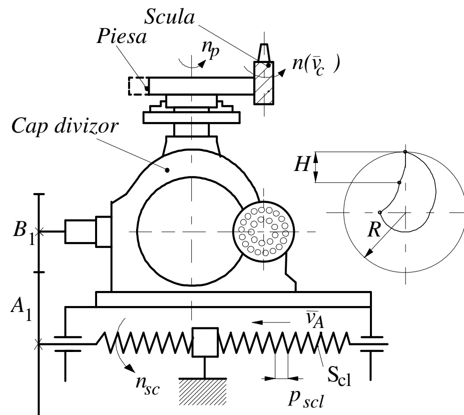


Fig. 8.176. Frezarea camelor plane spirale: A_1/ B_1 - roți de schimb; S_{cl} - șurubul conducător al mesei longitudinale; p_{Scl} – pasul șurubului conducător; n – turația sculei așchietoare; $\bar{v}_c$ - viteza mișcării principale de așchiere ; n_p – turația piesei de prelucrat; $\bar{v}_A$ - viteza mesei; n_{Sc} – rotația șurubului conducător; H – pasul spiralei arhimedice.

8.9.5. Stabilirea condițiilor de lucru la frezare

La stabilirea condițiilor de lucru la frezare trebuie avute în vedere următoarele aspecte: forma şi dimensiunile semifabricatului, pecizia dimensională şi rugozitatea suprafeței prelucrate, caracteristicile mecanice şi starea suprafeței materialului de prelucrat, natura materialului, construcția şi parametrii geometrici ai sculei aşchietoare, condițiile în care se desfăşoară procesul de aşchiere şi productivitatea prelucrării, precum şi particularitățile specifice procesului de frezare.

Pricipalele etape ce trebuie parcurse în vederea stabilirii condițiilor de lucru la frezare sunt prezentate mai jos.

8.9.5.1. Alegerea sculei aşchietoare

Principalul criteriu după care se face alegerea sculei aşchietoare este configurația geometrică a suprafeței de prelucrat, precizia dimesională şi rugozitatea suprafeței, precum şi productivitatea prelucrării. Configurația geometrică a suprafeței (plană, în trepte, cilindrică, profilată, canale de pană, canale elicoidale, filete, cremaliere, roți dințate etc.) implică un anumit tip de freză şi mai ales un anumit diametru al sculei. Alegerea diametrului frezelor se face pe baza unor recomandări, norme sau standarde, care stabilesc unele caracteristici constructive ale frezelor pentru cazuri concrete de prelucrări (de exemplu, prelucrarea roților dințate, prelucrarea canalelor de pană etc.).

8.9.5.2. Stabilirea durabilității economice şi a uzurii maxime admisibile a sculei aşchietoare

În stabilirea durabilității economice a sculei trebuie avute în vedere următoarele particularități ale procesului de frezare:

- în așchiere se află simultan numai o parte a dinților frezei (cel puțin doi și cel mult jumătate), ceea ce înseamnă un regim termic avantajat, în comparație cu alte scule;

- productivitatea prelucrării foarte mare, deoarece așchiază simultan mai mulți dinți, dar și evacuarea de căldură mai mare și, deci, deformații termice locale mai mici;

- uneori, grosimea așchiei ajunge până la zero, ceea ce înseamnă strivirea materialului, apăsări specifice mari și, deci, uzură pronunțată pe fața de așezare.

Având în vedere particularitățile de mai sus, durabilitatea economică a sculei așchietoare se alege între 60 minute și 480 minute, în funcție de tipul sculei, natura prelucrării (degroșare, finisare etc.) și natura materialului de prelucrat.

8.9.5.3. Stabilirea adâncimii de așchiere și a numărului de treceri

Adâncimea de așchiere a_p se măsoară pe o direcție perpendiculară pe planul de lucru *PL* și reprezintă proiecția porțiunii tăișului principal aflat în contact direct cu așchia, pe această direcție (fig. 8.177. a). În unele cazuri aceste mărimi sunt strict determinate de particularitățile procesului de frezare, de exemplu, la prelucrarea canalelor cu ajutorul frezelor disc (fig. 8.177. b), adâncimea de așchiere nu este egală cu lățimea frezei, iar la utilizarea frezelor deget, adâncimea de așchiere este determinată de diametrul acestora (fig. 8.177. c).

Față de schemele prezentate în figurile anterioare, simbolurile folosite în calculul parametrilor de așchiere la frezare au următoarele semnificații:

- a_e reprezintă pătrunderea pe direcție radială a frezei în piesa de prelucrat;

- a_p reprezintă pătrunderea pe direcție axială a frezei în piesa de prelucrat.

În majoritatea cazurilor adâncimea de așchiere și lățimea de contact se aleg așa fel încât prelucrarea să se facă dintr-un număr minim de treceri.

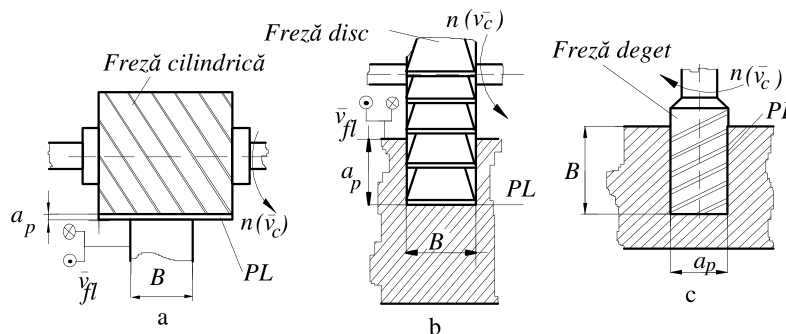


Fig. 8.177. Adâncimea de așchiere a_p și lățimea de frezare *B* la frezarea:
a - cilindrică; b - cu freză disc; c - cu freză deget; a_p - adâncimea de așchiere; *B* – lățimea de frezare; *PL* - plan de lucru; *n* –turația sculei așchietoare; $\overline{v}_c$ -viteza mșcării principale de așchiere; $\overline{v}_{fl}$ - viteza avansului transversal.

8.9.5.4. Stabilirea vitezei de avans

Mărimea deplasării relative a piesei prelucrate (sau a sculei) faţă de un punct oarecare de pe axa frezei, poartă numele de viteză de avans $\bar{v}_f$, exprimată în [mm/min]. Deoarece în timpul frezării, într-un minut, scula efectuează n rotaţii, în calculul regimului de aşchiere apare noţiunea de avans pe o rotaţie a frezei f, exprimat în [mm/rot]. Mărimea deplasării relative a semifabricatului, într-un interval de timp egal cu acela dintre intrarea în material şi ieşirea din material a doi dinţi consecutivi, poartă denumirea de avans pe dinte f_z, exprimat în [mm /dinte]. Între aceste mărimi există relaţiile:

$$v_f = f \cdot n \quad \text{[mm/min]} \;, \tag{8.180'}$$

$$f = f_z \cdot z \quad \text{[mm/rot]} \;, \tag{8.181}$$

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n \quad \text{[mm/min]} \;, \tag{8.182}$$

în care: z este numărul de dinţi ai frezei-sculă; n - turaţia frezei, în rot/min.

Mărimea admisibilă a vitezei de avans depinde de tipul sculei, natura materialului de prelucrat, calitatea suprafeţei ce se vrea obţinută, rigiditatea sistemului tehnologic maşină-unealtă-piesă-dispozitive-sculă, rezistenţa mecanismului de avans şi puterea motorului de acţionare. Având în vedere cele de mai sus, viteza de avans se alege din nomograme şi tabele determinate experimental.

8.9.5.5. Stabilirea forţelor de aşchiere

Un dinte al frezei cilindrice cu dinţi elicoidali este supus forţei rezultante R a reacţiunilor de aşchiere (fig. 8.178) care se descompune pe trei direcţii: componenta tangenţială F_t, componenta axială F_x şi componenta radială F_r. Cum în aşchiere sunt mai mulţi dinţi simultan z_{sim}, rezultantele forţelor pe cele trei direcţii vor fi sumele celor z_{sim} componente ce acţionează simultan.

Componenta cea mai importantă este cea tangenţială F_t, care are o expresie de tip politropic de forma:

$$F_t = C_F \cdot a_p^{\,x_F} \cdot f_z^{\,y_F} \cdot B^{u_F} \cdot z \cdot D^{-q_F} \quad \text{[daN]} \;, \tag{8.183}$$

în care: a_p este adâncimea de aşchiere, [în mm]; f_z - avansul pe dinte, în [mm/dinte]; B - lăţimea de cotact, în [mm]; z - numărul de dinţi ; D - diametrul frezei, în [mm]; C_F; x_F; y_F; u_F; q_F - coeficienţi determinaţi experimental în funcţie de natura materialului de prelucrat şi tipul sculei.

Celelalte componente se determină cu relaţiile:

$$F_x = (0{,}1...1{,}2)\,F_t; \;\; F_r = (0{,}3...0{,}4)\,F_t \;, \tag{8.184}$$

în funcţie de cazul concret de generare prin frezare.

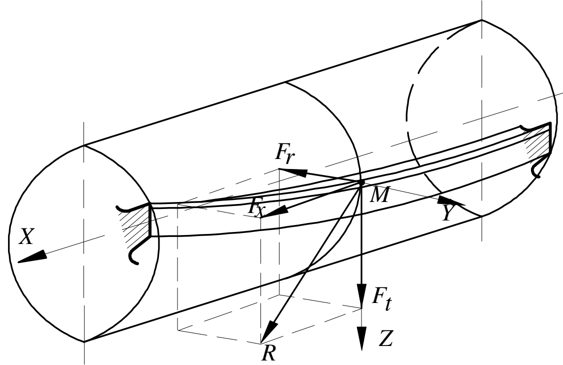


Fig. 8.178. Forţele de aşchiere la frezare:
$\overline{F}_t$ - componenta tangenţială;
$\overline{F}_r$ - componenta radială;
$\overline{F}_x$ - componenta axială;
R - rezultanta forţelor de aşchiere.

În cazul prelucrării cu freze cilindro-frontale se obţin expresii asemănătoare pentru cele trei componente.

8.9.5.6. Stabilirea momentelor de aşchiere

Momentul de răsucire al arborelui principal (al dornului pe care este fixată freza) se calculează cu relaţia:

$$M = F_{t_{med}} \cdot \frac{D}{2} \quad [\text{N·m}] \ , \qquad (8.185)$$

în care $F_{t\ med}$ este forţa tangenţială medie, care este cu 10...30% mai mică decât forţa tangenţială maximă; *D* - diametrul sculei.

8.9.5.7. Verificarea avansului de aşchiere

Mărimea avansului pe dinte f_z, ales din tabele, se verifică prin calcul, punându-se condiţia ca forţa *H* (componenta orizontală a forţei rezultante de aşchiere *R*) să fie cel mult egală cu forţa maximă admisibilă F_m în mecanismul de avans:

$$H \le F_m = k \cdot F_t \ , \qquad (8.186)$$

în care *k* este 0,8 … 0,9 la frezarea contra avansului; F_t - forţa tangenţială dată de relaţia (8.183). Dacă nu este îndeplinită condiţia (8.186) se calculează avansul pe dinte admisibil, $f_{z\ adm}$, cu relaţia:

$$f_{z_{adm}} = \sqrt[y_F]{\frac{F_m \cdot D^{q_F}}{k \cdot C_F \cdot a_e^{\ x_F} \cdot a_p^{\ u_F} \cdot z}} \quad [\text{mm/dinte}] \ , \qquad (8.187)$$

şi trebuie ca $f_z \le f_{z,admisibil}$.

În toate cazurile, valorile avansurilor pe dinte calculate sau alese tabelar, trebuie rotunjite în aşa fel încât să conducă la valori ale vitezei de avans posibil de realizat practic pe maşina-unealtă.

8.9.5.8. Stabilirea vitezei economice de aşchiere

Viteza economică de aşchiere $v_{c,ec}$ se calculează cu relaţia:

$$v_{c,ec} = \frac{C_v \cdot D^{q_v}}{T^m \cdot a_p^{x_v} \cdot f_z^{y_v} \cdot B^{u_v} \cdot z^{p_v}} k_v \quad \text{[m/min]} \quad , \qquad (8.188)$$

în care T este durabilitatea economică recomandată, în [minute]; D - diametrul frezei, în [mm]; C_v; k_v - coeficienţi de corecţie aleşi în funcţie de condiţiile de lucru concrete; x_v; y_v; u_v; q_v; p_v - exponenţi ce arată influenţa diferiţilor parametrii asupra durabilităţii economice.

8.9.5.9. Stabilirea turaţiei frezei şi a vitezei reale de aşchiere

Turaţia frezei necesară realizării vitezei economice de aşchiere se calculează cu relaţia:

$$n_{ec} = \frac{1000 v_{c,ec}}{\pi D} \quad \text{[rot/min]} \quad . \qquad (8.189)$$

Deoarece la axul principal al maşinii-unelte se realizează numai anumite valori pentru turaţie, se alege o turaţie de lucru n_r cea mai apropiată, imediat inferioară lui n_{ec}, sau imediat superioară, dacă pierderea de viteză $\Delta v < 5\%$.

După stabilirea turaţiei reale n_r se calculează viteza reală de aşchiere $v_{c\ real}$ cu relaţia:

$$v_{c_{real}} = \frac{\pi D n_r}{1000} \quad \text{[m/min]} \quad . \qquad (8.190)$$

Se calculează apoi variaţia vitezei Δv cu relaţia:

$$\Delta v = \frac{\pi D}{1000}\left(\frac{n_{ec} - n_r}{n_{ec}}\right) 100 \ [\%] \quad , \qquad (8.191)$$

şi se verifică dacă $\Delta v < 5\%$. În cazul când $\Delta v > 5\%$ se acţionează asupra celorlalţi factori care definesc condiţiile de lucru.

8.9.5.10. Verificarea puterii de aşchiere

Puterea necesară la frezare $P_{aş}$, se poate calcula cu relaţia:

$$P_{as} = \frac{Rv_{c_{real}}}{6\ 120 \cdot \eta} = \frac{F_t \cdot v_{c_{real}}}{6\ 000 \cdot \eta} \quad [\text{kW}] \ , \tag{8.192}$$

în care η este randamentul total al lanţului cinematic principal; F_t - componenta tangenţială a rezultantei R a forţelor de aşchiere.

Puterea necesară P_{mf} , în lanţul cinematic de avans se calculează cu relaţia:

$$P_{mf} = \frac{F_x \cdot f}{6\ 120 \cdot \eta} \quad [\text{kW}] \ . \tag{8.193}$$

Puterea calculată se compară cu puterea motorului electric de acţionare a lanţului cinematic P_{MEA} şi dacă se respectă condiţia $P_{aş} \le P_{MEA}$ atunci regimul de aşchiere stabilit este acceptat, dacă nu, se acţionează asupra principalilor factori ce influenţează viteza de aşchiere.

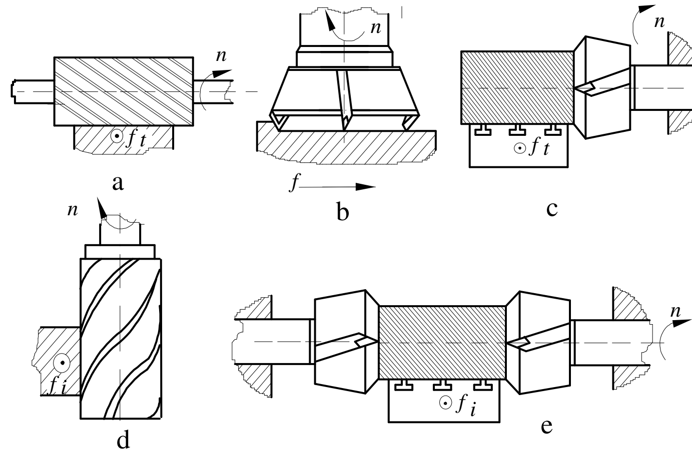
Observaţie. Determinarea tuturor coeficienţilor de corecţie şi a parametrilor necesari stabilirii condiţiilor de lucru la frezare se face folosind Manualul Inginerului Mecanic volumele I, II şi III şi normative corespunzătoare.

8.9.6. Tipuri de prelucrări executate pe maşinile de frezat

Pe maşinile de frezat se realizează cea mai variată gamă de tipuri de suprafeţe (fig. 8.179), deosebindu-se:

- frezarea suprafeţelor plane orizontale cu ajutorul frezelor cilindrice (fig.8.179. a) sau cu freze frontale (fig.8.179. b);

- frezarea suprafeţelor plane verticale cu freză frontală (fig.8.179. c), cu freză deget (fig.8.179. d) sau cu două freze frontale (fig.8.179. e) pe maşinile de frezat cu doi montanţi;



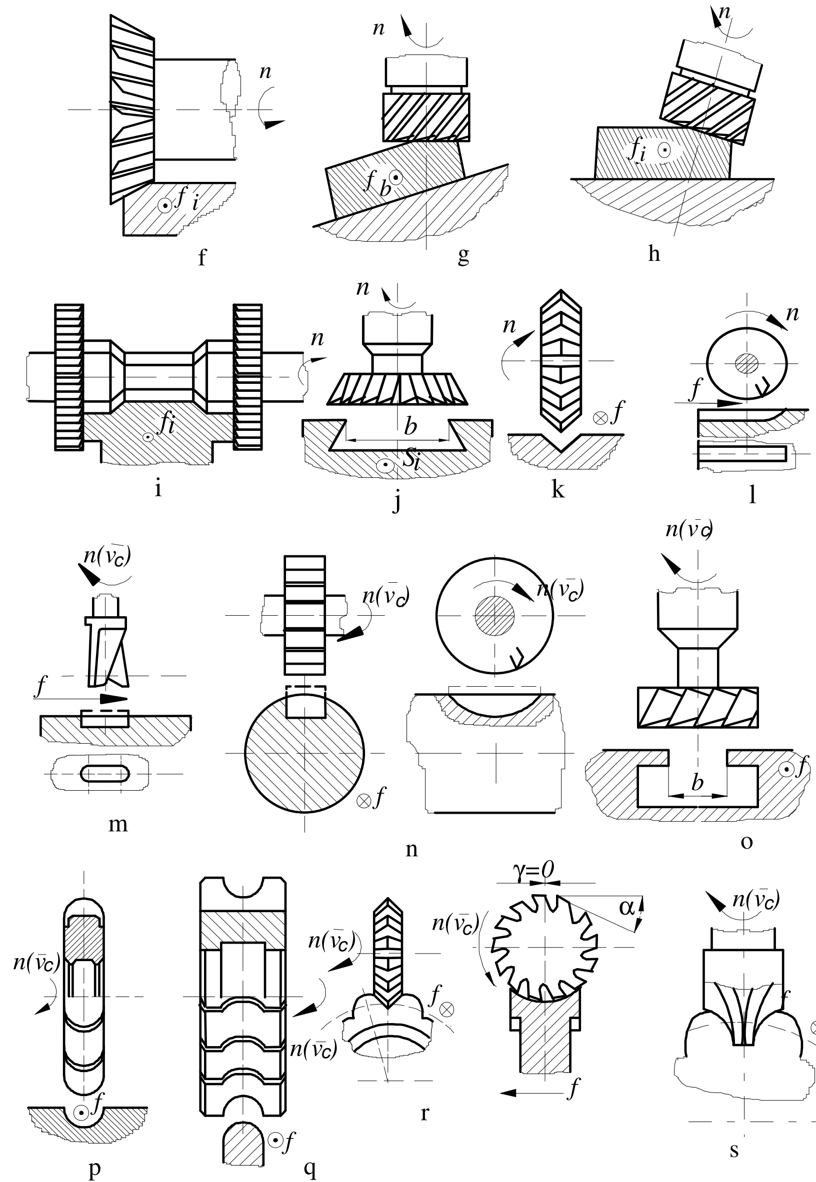


Fig. 8.179. Tipuri de suprafeţe executate prin frezare:
a; b - plane orizontale; c; d; e - plane verticale; f; g; h - plane înclinate; i - complexe de dimensiuni mari; j - canale coadă de rândunică; k - canale triunghiulare; l; m; n - canale de pană; o - canale în T; p; q - profilate de dimensiuni mici; r; s - roţi dinţate; *n* – turaţia sculei aşchietoare; f_t; f_l; f_c - avansul transversal şi respectiv longitudinal sau circular.

- frezarea suprafeţelor plane înclinate (fig.8.179. f, g, h) cu ajutorul frezelor unghiulare sau frontale;
- frezarea suprafeţelor complexe cu ajutorul frezelor profilate sau cu jocuri de freze (fig.8.179. i);
- frezarea canalelor cu secţiune triunghiulară, dreptunghiulară, în T, în coadă de rândunică etc.(fig.8.179. j…o);
- frezarea suprafeţelor profilate de dimensiuni mici (fig.8.179. p şi q) sau de dimensiuni mari prin copiere;
-frezarea danturii roţilor dinţate cu ajutorul frezelor disc-modul (fig.8.179. r), frezelor deget-modul (fig.8.179. s) sau frezelor melc-modul;
- frezarea cremalierelor folosind capul divizor (fig.8.174);
- frezarea canalelor elicoidale folosind capul divizor (fig.8.175);
- frezarea camelor plane spirale (fig.8.176) folosind capul divizor etc.

8.10. PRELUCRAREA PRIN BURGHIERE, LĂRGIRE, ADÂNCIRE, LAMARE, TARODARE ŞI ALEZARE

8.10.1.Definire. Scheme de principiu

Faţă de prelucrarea suprafeţelor exterioare, la prelucrarea suprafeţelor interioare se întâmpină unele greutăţi, ţinând cont că: sculele au o rigiditate mai mică, poziţia de lucru este mai dificilă, aşchiile se evacuează mai greu, procesul de aşchiere este greu de observat, pătrunderea lichidului de răcire este mai dificilă etc. Pentru stabilirea unui proces tehnologic corespunzător, alezajele se clasifică după mărimea diametrului, adâncimea, precizia dimensională şi rugozitatea alezajului. Ţinând seama de raportul adâncime *l* pe diametru *d*, se disting: *alezaje scurte*, când $l/d \le 0{,}5$; *alezaje normale*, când $0{,}5 < l/d \le 3$; *alezaje lungi*, când $3 < l/d \le 10$; *alezaje adânci,* când $l/d > 10$.

Principalele procedee de prelucrare a alezajelor prin aşchiere, ţinând seama de precizia care se poate realiza sunt : burghierea, lărgirea, adâncirea, lamarea, alezarea, filetarea, strunjirea interioară, broşarea, rectificarea, honuirea, lepuirea etc.

Burghierea (fig.8.180) *este operaţia de prelucrare prin aşchiere a unor găuri de diferite dimensiuni, executate în material plin cu ajutorul unor scule numite burghie, ce efectuează atât mişcarea principală de aşchiere n, cât şi mişcarea de avans în direcţie axială* f_{ax}.

Lărgirea (fig.8.181) *este operaţia de prelucrare prin aşchiere a găurilor (obţinute în prealabil prin turnare, deformare plastică, găurire etc.) având drept scop mărirea secţiunii transversale, efectuată cu ajutorul unor scule numite lăgitoare.* Operaţia este raţională pentru prelucrarea găurilor cu diametre mai mari de 40 mm.

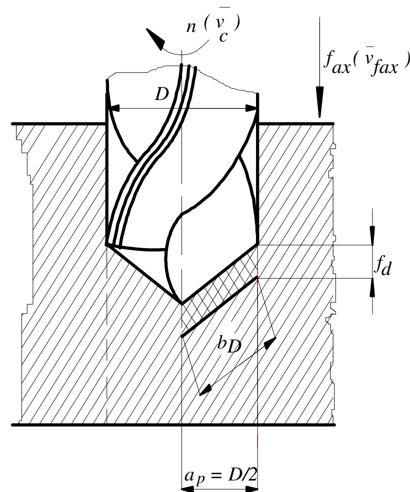


Fig. 8.180. Schema de principiu la burghiere: *n* – turaţia burghiului; $\bar{v}_c$ - viteza mişcării principale de aşchiere; $\bar{f}_{ax}(\bar{v}_{fax})$ - avansul de aşchiere (viteza de avans pe verticală); a_p - adâncimea de aşchiere; b_D - grosimea aşchiei; *D* - diametrul burghiului; f_d - avansul pe dinte.

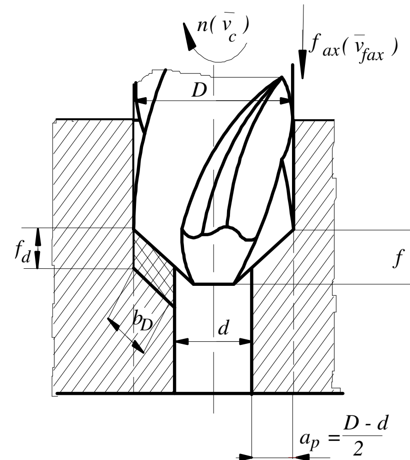


Fig. 8.181. Schema de principiu la lărgire: *D* – diametrul lărgitorului; *d* – diametrul iniţial al găurii; $n(\bar{v}_c)$ - viteza mişcării principale de aşchiere; f_d - avansul pe dinte.

Adâncirea (fig. 8.182) *este operaţia de prelucrare prin aşchiere a unor găuri cilindrice sau conice, la extremitatea altei găuri de diametru mai mic, faţă de care sunt coaxiale.* Operaţia se execută cu ajutorul unor scule numite *adâncitoare.*

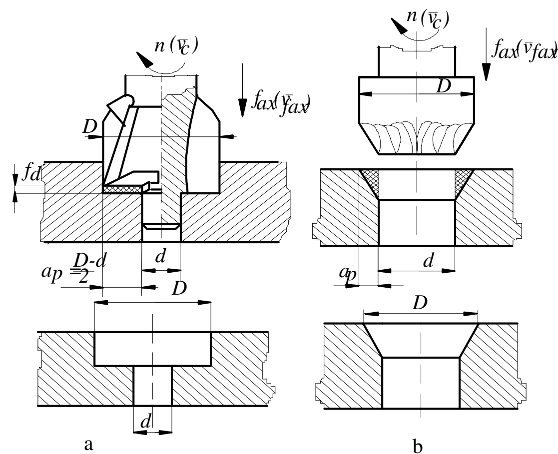


Fig. 8.182. Schema de principiu la adâncire:
a - cilindrică; b – conică;
D - diametrul găurii prelucrate;
d – diametrul găurii iniţiale;
f_d - avansul pe dinte;
a_p - adâncimea de aşchiere.

Lamarea (fig. 8.183) *este operația de prelucrare prin aşchiere a unei suprafețe plane perpendiculară pe axa unei găuri*. Operație executată cu ajutorul unor *scule de lamat*.

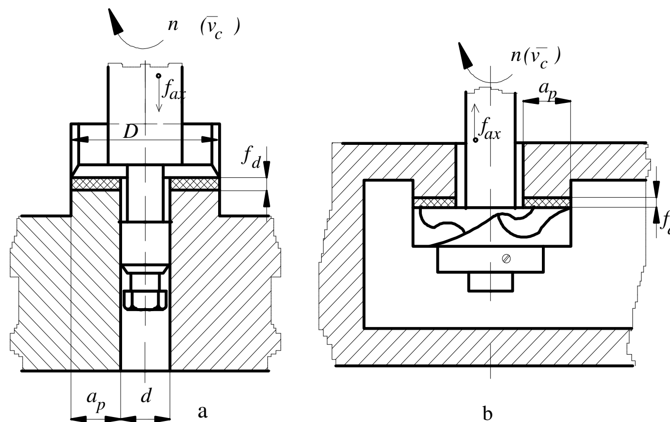


Fig. 8.183. Schema de principiu la lamare: a - suprafață exterioară; b - suprafață interioară: *D* – diametrul lamatorului; *d* – diametrul găurii; f_v - avansul; a_p - adâncimea de aşchiere; f_d - avansul pe dinte.

Alezarea (fig. 8.184) *este operația de prelucrare prin aşchiere a alezajelor având drep scop mărirea preciziei dimensionale şi îmbunatățirea netezimii suprafețelor.* Operația se execută cu ajutorul unor scule numite *alezoare.*

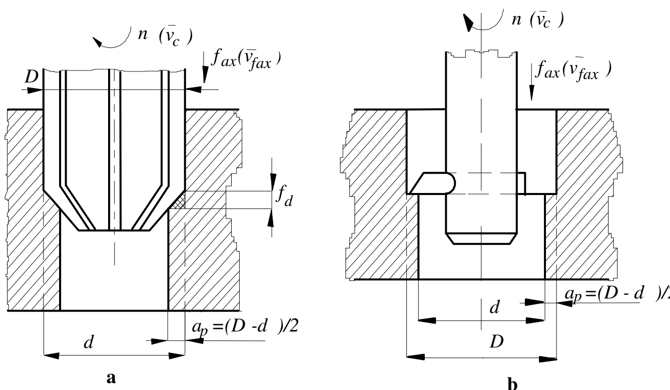


Fig. 8.184. Schema de principiu la alezare: a - cu alezorul; b - cu bară de alezat: *d* – diametrul inițial al găurii; *D* – diametrul găurii alezate; f_{ax} - avansul axial; f_d - avansul pe dinte; a_p - adâncimea de aşchiere.

Tarodarea (fig.8.185) *este operația de realizare a filetelor interioare*, cu ajutorul unor scule speciale numite *tarozi.*

8.10.2. Generarea suprafețelor prin burghiere

Prin cinematica de generare, operațiile de burghiere, lărgire, adâncire, lamare, alezare, tarodare permit obținerea tuturor categoriilor de suprafețe

cilindrice interioare de diverse diemnsiuni şi grad de netezime, străpunse sau nestrăpunse. Mişcarea principală este întotdeauna de rotaţie, executată de sculă (foarte rar de piesă), iar mişcarea de avans este executată tot de sculă (mai rar de piesă).

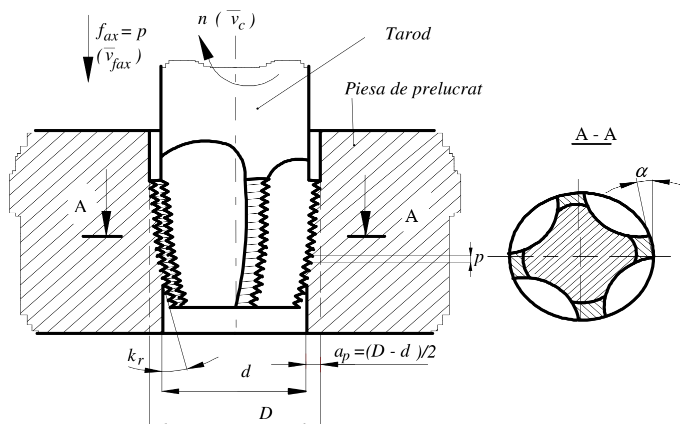


Fig. 8.185. Schema de principiu la tarodare: d – diametrul iniţial al găurii; D – diametrul exterior al filetului; f_{ax} - avansul axial; a_p - adâncimea de aşchiere; p – pasul filetului; k_r - unghiul de atac al părţii active a tarodului; α - unghiul de aşezare.

În majoritatea cazurilor generatoarea şi directoarea sunt materializate prin muchia aşchietoare a sculelor utilizate.

La burghiere, lărgire, adâncire, lamare şi alezare, generatoarea este rectilinie, iar directoarea este circulară, materializată prin construcţia muchiei aşchietoare.

La tarodare, directoarea este elicoidală, materializată prin filetul sculei (tarodului), iar generatoarea este materializată de muchiile aşchietoare ale părţii active ale tarodului.

8.10.3. Geometria sculelor aşchietoare. Tipuri de scule utilizate

Pentru operaţia de burghiere se folosesc scule specifice numite *burghie.* În funcţie de construcţia lor, burghiele folosite sunt: *elicoidale* (fig.8.186. a), *late* (fig. 1.186. b), *de centruire* (fig. 1.186. c), *pentru găuri adânci* (fig. 1.186. d). Cel mai des folosit este burghiul elicoidal, deoarece îşi păstrează diametrul după reascuţire, asigură o bună ghidare pe faţetele laterale, permite realizarea unor unghiuri de aşezare şi de degajare corecte şi asigură eliminarea uşoară a aşchiilor formate.

Parametrii geometrici constructivi ai burghiului elicoidal se prezintă în figura 8.187. a, iar cei funcţionali în figura 8.187. b. În procesul de aşchiere unghiul de degajare şi de aşezare se modifică, deoarece traiectoria descrisă de un punct M al tăişului este o elice (fig. 8.187):

$$\alpha_M^{'} = \alpha_M - \theta_M ; \quad \gamma_M^{'} = \gamma_M + \theta_M \quad , \qquad (8.194)$$

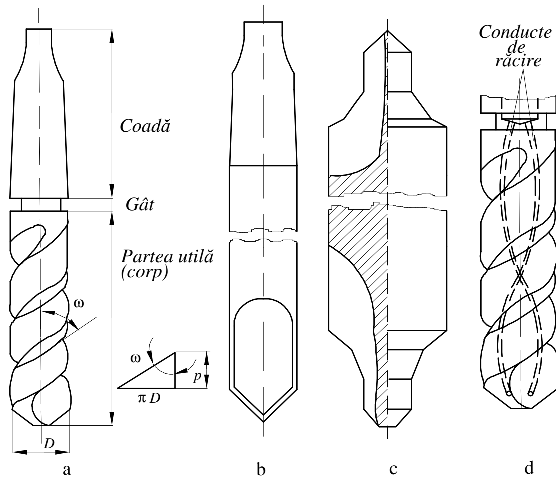


Fig. 8.186. Diferite tipuri de burghie:
a - elicoidal; b - lat; c - de centrare; *d* - pentru găuri adânci: *D* – diametrul burghiului; ω - unghiul de înclinare al elicei; *p* – pasul elicei.

în care θ_M se deduce din triunghiul *MOO'*:

$$\mathrm{tg}\theta_M = \frac{f}{\pi \cdot d_M} \quad , \tag{8.195}$$

în care *f* este avansul.

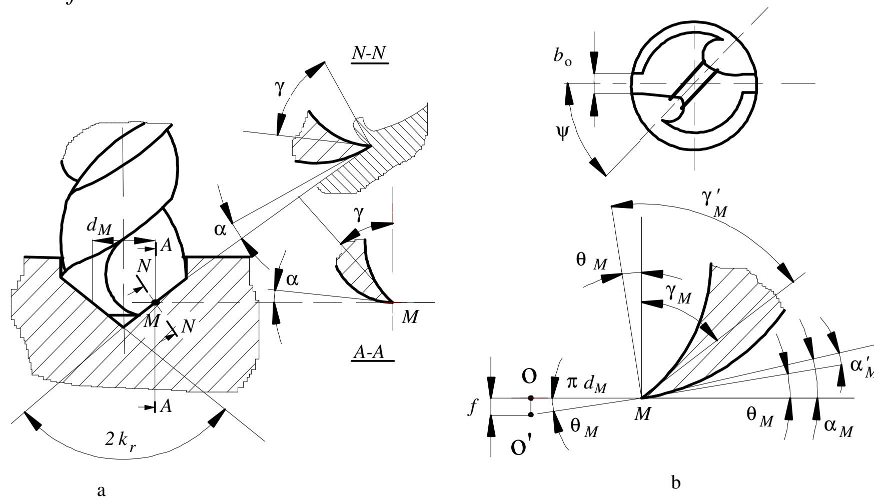


Fig. 8.187. Parametrii geometrici ai burghiului elicoidal:
a - parametrii constructivi; b - parametrii funcționali: α - unghiul de așezare; γ - unghiul de degajare; k_r - unghiul de atac; ψ - unghiul de înclinare transversal; b_o - fațetă; ω - unghiul de înclinare al elicei; α'_M ; γ'_M - unghiurile de așezare funcțional și respectiv de degajare funcțional; *f* – mărimea avansului.

Unghiul de vârf $2k_r$ este analog cu unghiul de atac principal al cuțitelor de strung şi se alege în funcie de materialul de prelucrat .

Unghiul de înclinare ψ al tăişului transversal este unghiul format între proiecția tăişului transversal şi proiecția tăişului principal pe un plan perpendicular pe axa burghiului.

Unghiul de înclinare al elicei muchiei fațetei ω, dintre axa burghiului şi desfăşurata liniei elicoidale a muchiei fațetei, se calculează cu relația :

$$\mathrm{tg}\omega = \frac{\pi \cdot D}{p} \quad , \qquad (8.196)$$

în care *D* este diametrul burghiului, iar *p* este pasul elicei.

Pentru operația de lărgire se folosesc scule numite *lărgitoare* (fig. 8.188) asemănătoare cu burghiele elicoidale, dar prevăzute cu trei, patru sau chiar mai mulți dinți, pentru a realiza o mai bună ghidare. Lărgitoarele pot fi cu coadă (fig. 8.188. a), cu alezaj şi dinți monobloc (fig. 8.188. b) sau cu alezaj şi dinți demontabili.

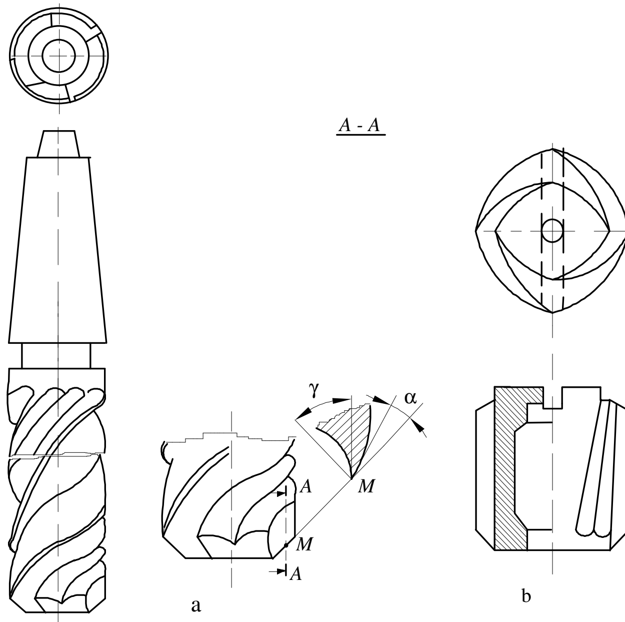


Fig. 8.188. Tipuri de lărgitoare:
a - cu coadă; b - cu alezaj şi dinți monobloc.

Lărgitoarele elicoidale cu coadă au o geometrie asemănătoare cu cea a burghielor elicoidale, cu deosebirea că tăişurile principale nu merg până la centru, dispărând tăişul transversal, au o rigiditate mai mare şi pot lucra cu avansuri mai mari.

Operația de adâncire se execută cu scule specifice numite *adâncitoare*. În funcție de tipul suprafeței de prelucrat adâncitoarele sunt cilindrice (fig. 8.182. a), conice (fig. 8.182. b) sau în trepte. Adâncitoarele conice se mai numesc şi *teşitoare*, iar operația respectivă - *teşire*. Pentru o mai bună ghidare a adâncitoarelor față de alezajul inițial acestea sunt prevăzute cu cepuri de ghidare.

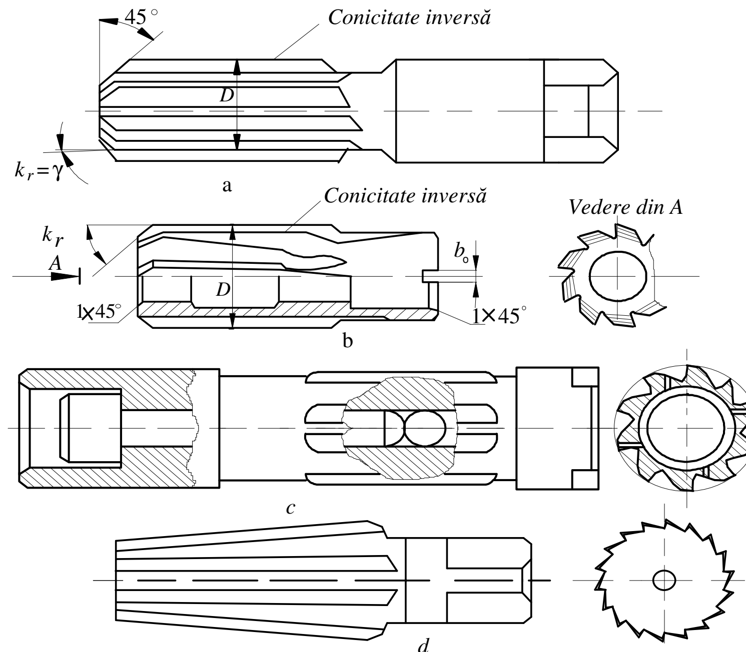


Fig. 8.189. Tipuri de alezoare:
a - cu dinți drepți; b - cu alezaj; c - reglabil; d - conic: k_r - unghiul de atac; γ - unghiul de degajare.

Operația de alezare a găurilor se execută cu scule numite *alezoare*. Alezoarele se deosebesc de lărgitoare prin faptul că au un număr mai mare de dinți (de regulă 6...18). Câteva tipuri de alezoare se prezintă în figura 8.189.

Filetarea găurilor interioare de diametre mici şi mijlocii, în producția de serie mare şi masă, se face cu ajutorul unor scule numite *tarozi*. Tarodul este în esență un şurub, prevăzut cu trei sau patru canale pentru realizarea fețelor de degajare.

Pentru a realiza unghiuri de aşezare pozitive, dinții tarodului se detalonează. Pentru a împiedica ruperea tarodului, în cazul creşterii neprevăzute a momentului de torsiune sau datorită ajungerii acestuia în fundul găurii, prinderea tarodului în arborele principal al maşinii se face prin intermediul unei mandrine speciale de cuplaj la suprasarcină.

8.10.4. Maşini-unelte şi dispozitive specifice la prelucrarea prin burghiere, lărgire, adâncire, alezare şi tarodare

8.10.4.1. Maşini-unelte

Toate operaţiile definite mai sus se pot efectua pe maşini-unelte numite *maşini de găurit*. Domeniul de utilizare al maşinilor de găurit este în funcţie de diametrul maxim al găurii ce se poate executa şi în funcţie de numărul de rotaţii ale axului principal al maşinii.

Maşinile de găurit se clasifică după mai multe criterii (fig.8.190).

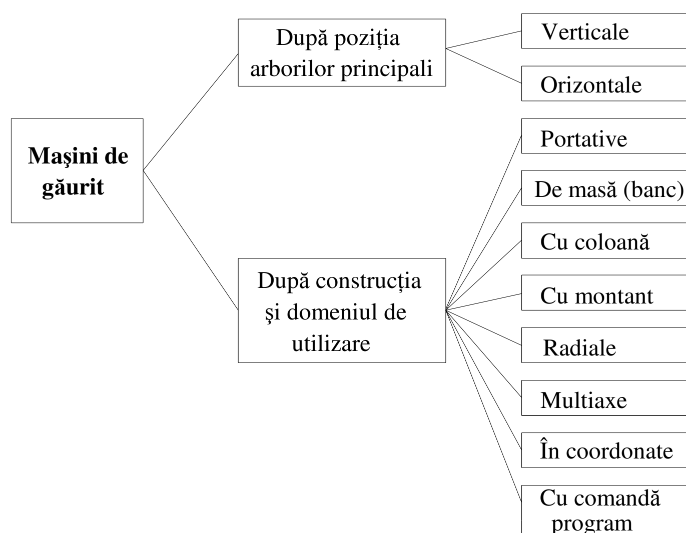


Fig. 8.190. Clasificarea maşinilor de găurit.

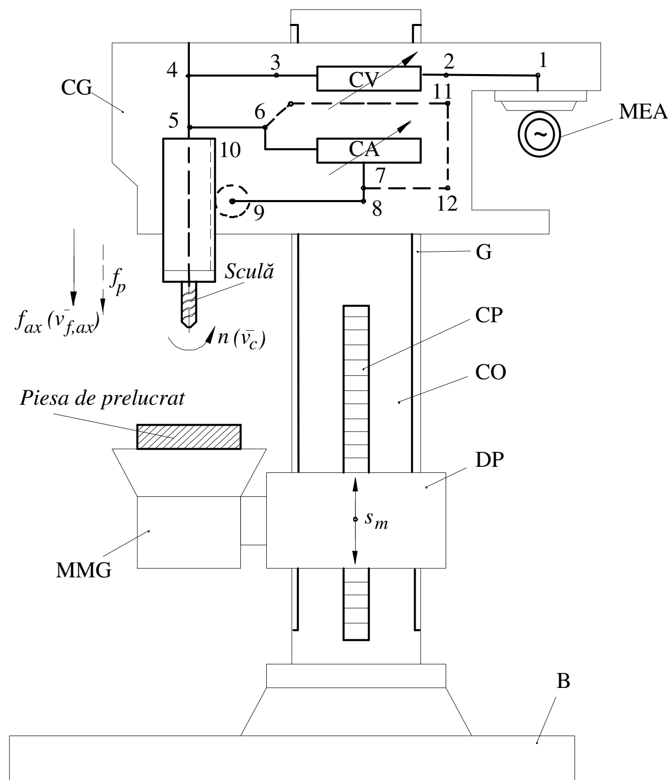
Maşinile de găurit de masă sunt construite pentru piese de dimensiuni şi greutăţi mici, putând efectua operaţii de burghiere, adâncire, alezare şi lărgire a găurilor cu diametre mai mici de 12 mm.

Maşinile de găurit cu coloană sunt destinate prelucrării pieselor mici şi mijlocii, cu diametrul găurii până la 40 mm. Variaţia turaţiilor la aceste maşini se realizează de obicei cu ajutorul cutiilor de viteze *CV*, având 6...12 trepte, iar variaţia avansurilor cu ajutorul cutiilor de avansuri *CA*, având 3...4 trepte (fig. 8.191.a). Schema fluxului cinematic a unei astfel de maşini se prezintă în figura 8.191. b.

Maşinile de găurit cu montant se folosesc la prelucrarea găurilor cu diametru maxim de 25...80 mm. Constructiv sunt asemănătoare cu maşinile de găurit cu coloană, cu deosebirea că elementul de susţinere este un montant, care asigură o rigiditate mai mare decât coloana.

Maşinile de găurit radiale sunt destinate prelucrării pieselor de dimensiuni mari, greu de manevrat, cum sunt batiurile de maşini-unelte, cazane, rezervoare, construcții metalice lungi etc. Caracteristic la aceste maşini este faptul că semifabricatul este fix pe masa maşinii, iar scula execută, pe lângă mişcarea principală de rotație şi mişcarea de avans vertical, şi mişcările de potrivire a axului sculei cu axa găurii care se prelucrează.

Schema cinematică de principiu a unei maşini de găurit radială se prezintă în figura 8.192. a, iar fluxul cinematic, în figura 8.192. b.



a

MEA -1-2- CV - 3 - 4 - 5 - 10 - Sculă $\rightarrow n(\bar{v}_c)$ - mişcarea principală de rotație;

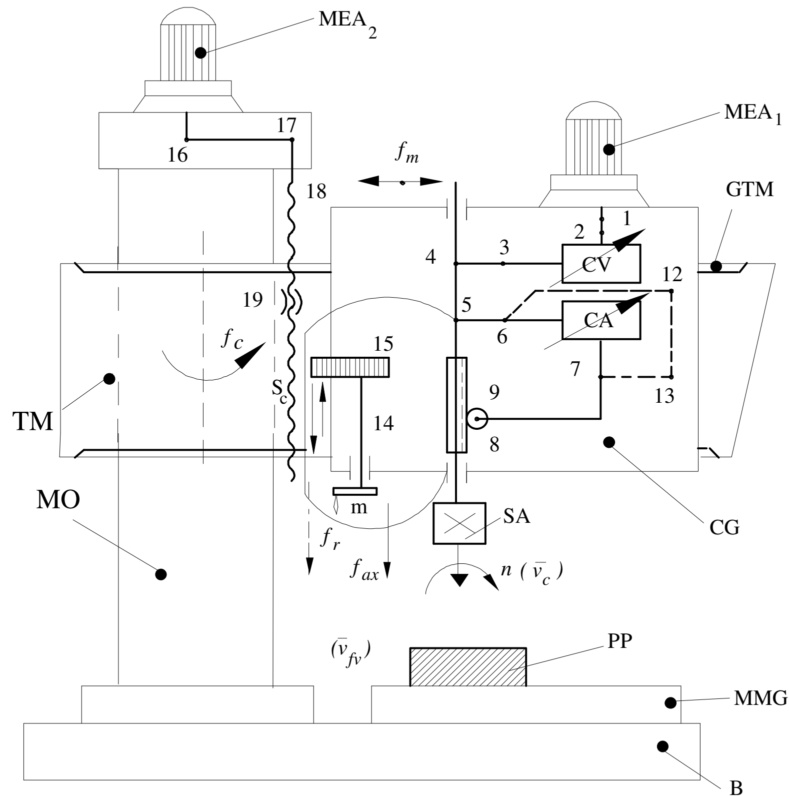
MEA -1-2-CV-3-4-5-6-CA-7-8-9- 10 - Sculă $\rightarrow f_{ax}$ - mişcarea de avans vertical al sculei;

MEA-1-2-CV-3-4-5-6-11-12-7-8-9-10- Sculă $\rightarrow f_{r,ax}$ -mişcarea de deplasare rapidă pe verticală.

b

Fig. 8.191. Schema de principiu a unei maşini de găurit cu coloană:
a - schema cinematică: B - batiu; MMG - masa maşinii de găurit; CO - coloană; CP – cremalieră de reglare; CG - cap de găurit; G - ghidaje; DP - dispozitiv de poziționare; 1, 2, 3,…, 12 - mecanisme de transmitere a mişcării; b - fluxul cinematic.

Maşinile de găurit în coordonate se folosesc pentru executarea unor lucrări de precizie foarte ridicată (de ordinul micronilor). Sunt destinate prelucrării prototipurilor, dispozitivelor, sculelor sau pieselor în serii mici, cărora li se impun precizii deosebite.



MEA_1-1-2-CV-3-4-5-SA $\rightarrow n(\bar{v}_c)$ - mişcarea principală de rotaţie;

MEA_1-1-2-CV-3-4-5-6-CA-7-8-9-10-SA $\rightarrow f_{ax}$ - avansul axial vertical al sculei;

MEA_1-1-2-CV-3-4-5-6-12-13-7-8-9-10-SA $\rightarrow f_r$ - deplasarea rapidă a axului principal;

MEA_2-16-17-18-19-Sc $\rightarrow f_c$ - deplasarea verticală a braţului;

m - 14 - 15 - f_m - deplasarea manuală a saniei de găurire.

b

Fig. 8.192. Schema de principiu a unei maşini de găurit radială:
a - schema de principiu: B - batiu; MMG - masa maşinii de găurit; MO - montant; TM - traversă mobilă; CG - cap de găurit; m - manetă de acţionare manuală; GTM - ghidajele traversei mobile; SA – scula aşchietoare; PP – piesa de prelucrat; AP – axul principal; S/p – mecanism şurub – piuliţă; 1, 2, 3, …, 19 - mecanisme de transmitere a mişcării; b - fluxul cinematic.

Principiile prelucrării în coordonate se determină plecând de la sistemul de coordonate „fixe” *X, Y, Z*, asigurate de mașină (fig. 8.193. a), unde sania cu axul principal se află în poziția limită stânga (indicatorul său la 0 pe rigla r_1), masa S_2 în poziția extremă din față (indicatorul 0 pe rigla r_2), iar S_3 la o poziție oarecare *z* (rigla r_3). Piesa *P* al cărui desen este făcut într-un sistem de axe rectangulare *x, y, z* (fig. 8.193. b) se așează pe masa de lucru S_L, orientându-se coordonatele sale, numite coordonate „mobile”, paralel cu cele fixe.

Reglarea mașinii și, în speță, prelucrarea constă în suprapunerea axei viitoarei găuri (de exemplu G_1) cu axa burghiului, adică determinarea coordonatelor x_1 și y_1 și deplasarea saniei S_1 și S_2 cu:

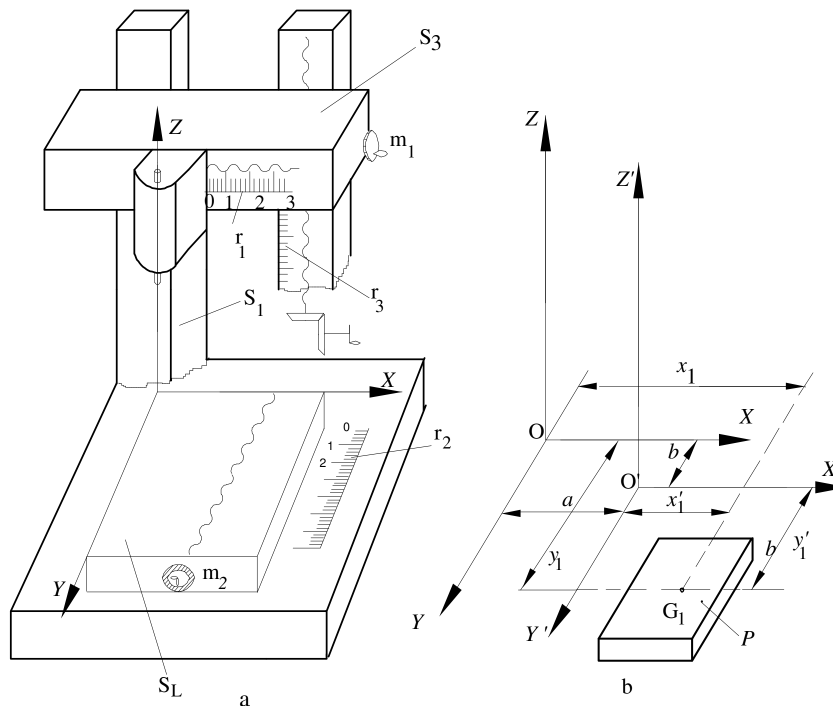


Fig. 8.193. Principiul prelucrării în coordonate:
a - posibilitățile mașinii; r_1; r_2; r_3 – rigle gradate; S_1; S_2; S_3 – sănii de lucru; *a; b; c* – coordonatele originii mobile *O′*; *x′*; *y′*; *z′* – coordonatele unei găuri ce urmează a fi prelucrată; b - modul de alegere al coordonatelor.

$$x_1 = a + x_1^{'};\quad y_1 = b + y_1^{'}, \tag{8.197}$$

sau în general:

$$x = \pm a \pm x^{'};\quad y = \pm b + y^{'};\quad z = \pm c \pm z^{'}, \tag{8.198}$$

unde *a, b, c* sunt coordonatele originii mobile 0′ față de originea fixă 0; *x′, y′, z′*- coordonatele centrului unei găuri de pe piesă, față de coordonatele mobile, care se iau din desenul special al piesei.

În cazul când reglarea se face în coordonate polare, adică la masa rotativă divizoare, axa axului principal se suprapune cu axa găurii şi a mesei, centrul mesei, fiind originea 0′ a coordonatelor mobile.

Pentru prelucrarea pieselor de dimensiuni mari şi pentru posibilități mai largi de prelucrare se foloseşte *maşina de alezat şi frezat*, care pe lângă operațiile specifice maşinilor de găurit (burghiere, lărgire, alezare, filetare etc.) permite şi efectuarea unor operații ca strunjirea şi frezarea.

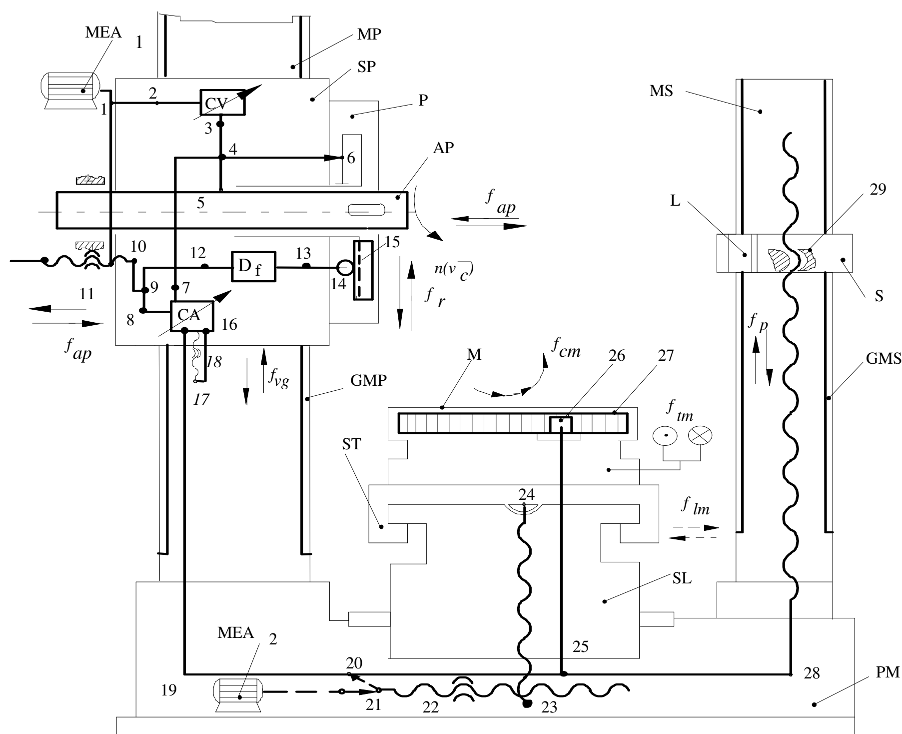
Maşinile de alezat şi frezat se construiesc în foarte multe variante, însă principiul cinematic al mişcărilor este acelaşi ca la maşina de alezat şi frezat orizontală (fig.8.194).

Arborele principal la aceste maşini este dispus orizontal şi poate executa pe lângă mişcarea principală de rotație cu turația *n* şi mişcarea de avans axial f_{ap}. Principalele părți componente ale maşinii sunt: patul maşinii PM, ghidajele GMS, masa maşinii M, sania transversală ST, sania longitudinală SL, montantul (stâlpul) principal MP, ghidajele montantului principal GMP, capul de găurit CG, platoul P, sania platoului SP, arborele principal AP, montant secundar MS, suportul S, lagărul L şi o serie de mecanisme şurub-piuliță.

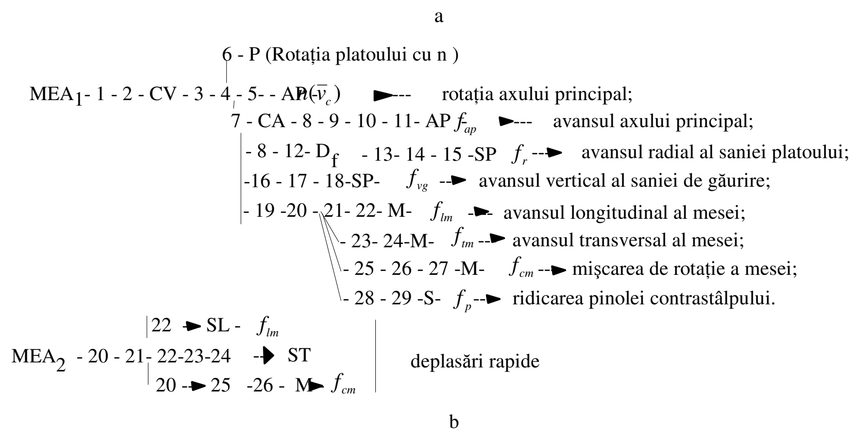
Procesul de aşchiere la maşinile de alezat şi frezat orizontale se obține prin mişcarea principală de aşchiere *n*, executată de sculă (mişcarea de rotație a axului principal AP), sau de avans axial f_{ap}. În arborele principal se montează sculele ce lucrează cu avans axial (burghie, alezoare, lărgitoare etc.), precum şi diverse tipuri de freze. Când se prelucrează suprafețe de lungime mare sau este necesară o prelucrare simultană a mai multor suprafețe cilindrice coaxiale ale unor pereți verticali paraleli (lagărele din carcasa cutiei de viteze a strungului, carcasele reductoarelor, blocuri de cilindrii etc.), tijele port–sculă, având lungimea mare, se prind cu un capăt în arborele principal AP şi cu celălalt în lagărul L al montantului secundar MS. În acest fel se micşorează deformația axului principal şi creşte precizia de prelucrare. Sania platoului SP poate efectua mişcarea principală de rotație *n* şi mişcarea de avans radial f_r (cazul când se prelucrează cu cuțite pentru strunjirea frontală). Semifabricatele se prind pe masa M, care poate efectua mişcarea de avans longitudinal f_{lm} , de avans transversal f_{tm} şi de avans circular f_{cm}. Deci, mişcările maşinii de alezat şi frezat pot fi grupate în: mişcări principale de aşchiere, mişcări secundare de avans şi mişcări de potrivire.

8.10.4.2. Dispozitive şi accesorii folosite la prelucrările pe maşini de găurit

La prelucrările pe maşinile de găurit şi maşinile de alezat şi frezat orizontale se folosesc o serie de accesorii specifice ca: menghine paralele cu şurub sau cu excentric, bride de fixare, plăci de ghidare, conuri de reducție, mandrine, capete multiax, dispozitive speciale de filetat cu tarodul şi altele.



a



b

Fig. 8.194. Maşina de alezat şi frezat orizontală:
a - schema cinematică de principiu: MP – montant principal; GMS - ghidajele montantului secundar; GMP - ghidajele montantului principal; MS - montant secundar; M - masa maşinii; AP - ax principal; CG - cap de găurit; P - platou; SP - sania platoului; S - suport; L - lagăr; B - batiu; D_f - diferenţial; ST - sanie transversală; SL - sanie longitudinală; 1, 2, 3,…, 29 - mecanisme de transmitere a mişcării; b - schema fluxului cinematic.

Menghinele paralele cu şurub sau cu excentric şi bridele de fixare se folosesc pentru prinderea semifabricatelor în vederea prelucrării. Plăcile de ghidare asigură o conducere corectă şi rapidă a sculei în vederea prelucrării.

Reducțiile sunt bucşe conice de diferite dimensiuni folosite la prinderea sculelor (burghie, adâncitoare, alezoare etc.) a căror coadă conică este mai mică decât aceea a alezajului principal (fig. 8.195).Reducțiile se construiesc în două variante: conuri Morse cu un set de şapte bucăți şi conuri metrice cu un set de cinci bucăți. Sculele cu coadă cilindrică se prind într-o mandrină care la rândul ei se fixează în alezajul arborelui principal (fig. 8.195. c). La prelucrarea succesivă a găurilor cu diferite scule, sunt foarte utile mandrinele rapide (fig. 8.195 d), care permit schimbarea sculelor fără a fi necesară oprirea axului principal. Sculele sunt prinse în alezajul conic al bucşei 1, care primeşte mişcarea de la corpul mandrinei 2, prin intermediul bridelor 3, care intră parțial în găurile din bucşa 1. Manşonul 4 este deplasat în jos, pentu a presa bilele în alezajele corespunzătoare din bucşă. La scoaterea sculei se ridică manşonul 4, şi datorită forțelor centrifuge, bilele se îndepărtează şi bucşa 1 cade împreună cu scula fixată în ea, după care din mers se introduce o altă bucşă cu scula următoare.

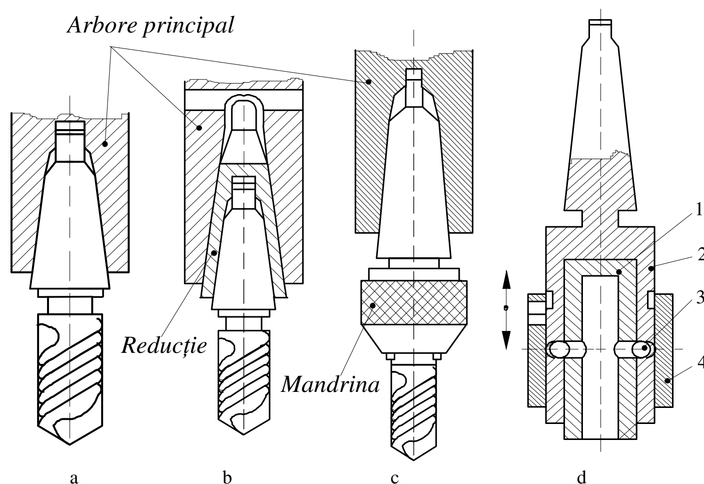


Fig. 8.195. Sisteme de fixare a sculelor: a - direct pe arbore; b - cu reducție ; c - cu mandrină; d - cu mandrină rapidă: 1- bucşă rapidă; 2 – mandrină; 3 – bridă; 4 – manşon.

La prelucrarea în serie a unor semifabricate prevăzute cu mai multe găuri dispuse într-un anumit mod (capace, flanşe etc.), se folosesc pentru burghiere capete multiaxe, care asigură prelucrarea simultană a tuturor găurilor. Aceste dispozitive se fixează pe maşini de găurit verticale cu un singur arbore principal şi se construiesc în două variante: cu *axe nereglabile* (fig. 8.196. a) şi cu *axe reglabile* (fig. 8.196. b).

La capetele multiax reglabile, poziția arborilor de găurire I - IV se poate regla în limitele D_0 - D, datorită arborilor telescopici 1 şi a articulațiilor cardanice 2. La toate capetele multiaxe arborele central A se prinde în alezajul conic al

arborelui principal al maşinii de găurit, care imprimă întregului dispozitiv atât mişcarea principală $n(\overline{v}_c)$, cât şi mişcarea de avans f_{ax}.

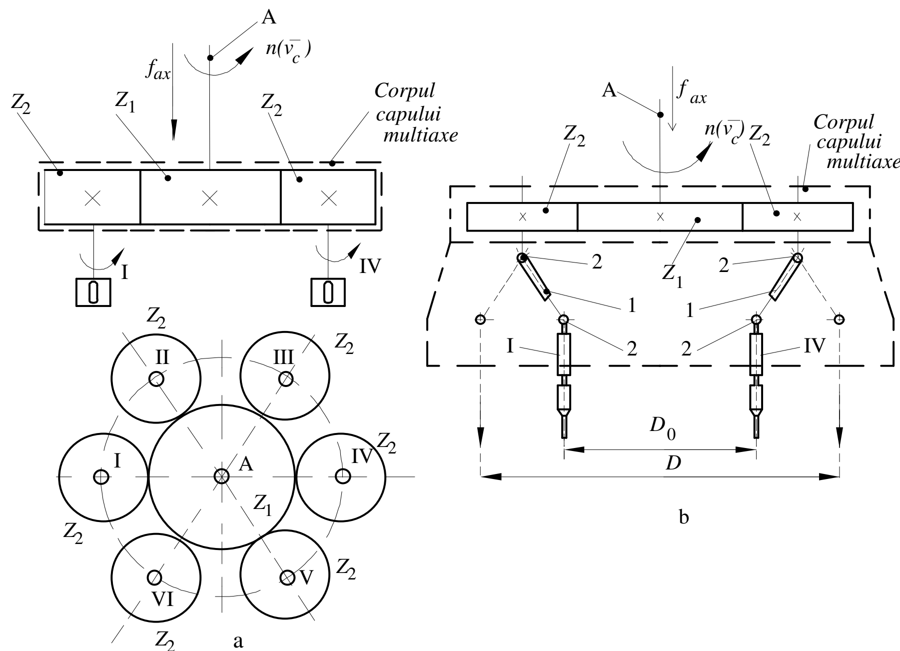


Fig. 8.196. Schema de principiu a capetelor multiax:
a - cu axe nereglabile; b - cu axe reglabile: I, II,…,VI - arbori de găurire; Z_1/Z_2 - angrenaje cu roți dințate; 1 - arbori telescopici; 2 - articulații cardanice.

În cazul filetării cu tarozi pe maşina de găurit, se folosesc mandrine compensatoare care trebuie să asigure:
- avansul liber, egal cu pasul filetului de executat;
- inversarea mişcării la terminarea filetării;
- împiedicarea ruperii tarodului când ajunge la fundul unei găuri înfundate;

8.10.5. Stabilirea condițiilor de lucru la burghiere, lărgire, adâncire, alezare şi tarodare

La stabilirea condițiilor de lucru trebuie avute în vedere următoarele: forma şi dimensiunile alezajului, precizia dimensională şi rugozitatea suprafeței prelucrate, caracteristicile mecanice şi starea suprafeței materialului prelucrat, natura materialului, tipul alezajului, construcția şi parametrii geometrici ai sculei aşchietoare, condițiile în care se desfăşoară procesul de aşchiere şi productivitatea prelucrării.

Principalele etape ce trebuie parcurse în vederea stabilirii condițiilor de lucru sunt prezentate în continuare.

8.10.5.1. Alegerea sculei aşchietoare

Se face în funcție de duritatea materialului de prelucrat, de dimensiunile găurii respective, de tipul alezajului, de precizia dimensională şi rugozitatea suprafeței prelucrate. Pentru prelucrarea găurilor cu $l \leq d$ se folosesc scule din oțel rapid (pentru oțeluri) şi scule armate cu plăcuțe dure (pentru fonte şi oțeluri călite). Pentru găuri de diametre mici (0,05...0,2 mm) se folosesc burghiele late. Pentru execuția găurilor adânci ($l/d > 10$) se folosesc burghie elicoidale cu canale pentru trimiterea lichidului de răcire, ungere şi evacuarea aşchiilor.

Pentru executarea găurilor adânci şi de diametre mari se folosesc burghiele inelare cu care se îndepărtează sub formă de aşchii numai o parte din materialul găurii.

Lărgitoarele se aleg în funcție de dimetrul găurii şi adâncimea de aşchiere.

Adâncitoarele se aleg în funcție de forma geometrică a suprafeței de prelucrat (cilindrică sau conică) şi de productivitatea prelucrării. Alezoarele se aleg în funcție de natura materialului de prelucrat, tipul alezajului, precizia dimensională şi rugozitatea suprafeței de prelucrat.

La tarodare, deoarece scula este puternic solicitată, se foloseşte un set de doi sau trei tarozi, astfel: primul tarod, de diametru mai mic decât diametrul final, face degroşarea, efectuând circa 60% din lucrul mecanic de aşchiere, al doilea tarod, tot de degroşare, efectuează circa 30% din lucrul mecanic total de aşchiere, iar al treilea tarod, de finisare, efectuează circa 10%.

8.10.5.2. Stabilirea durabilității economice şi a uzurii maxim admisibile a sculelor aşchietoare

Se face în funcție de dimensiunile alezajului de prelucrat, de materialul de prelucrat şi materialul sculei, de natura operației şi productivitatea prelucrării. Durabilitatea economică variază între 7 minute (pentru diametre ≤ 5 mm, în oțeluri) şi 55 minute (pentru diametre de 25...30 mm, în fonte).Uzura admisibilă se alege în funcție de câmpul de toleranță prescris alezajului.

8.10.5.3. Stabilirea adâncimii de aşchiere şi a numărului de treceri

Adâncimea de aşchiere, a_p, se calculează ținând cont de schema prelucrării, cu relațiile:

$$a_p = \frac{D}{2} \quad [\text{mm}] \tag{8.199}$$

pentru burghiere, şi:

$$a_p = \frac{D - d}{2} \quad [\text{mm}] \tag{8.200}$$

pentru lărgire, adâncire, alezare şi tarodare, în care D este diametrul sculei, în [mm]; d - diametrul găurii inițiale, în [mm].

Numărul de treceri se alege în funcție de mărimea adâncimii de aşchiere şi de natura operației.

8.10.5.4. Stabilirea avansului de aşchiere

Avansul f este dat de mărimea deplasării sculei sau a piesei de-a lungul axei, la o rotație a axului principal al maşinii. La alegerea avansului trebuie ținut cont de următorii factori: rigiditatea sistemului tehnologic (piesă–dispozitiv de prindere–sculă–maşină-unealtă), rezistența mecanismului de avans, rezistența sculei, precizia şi calitatea suprafeței găurii prelucrate etc.

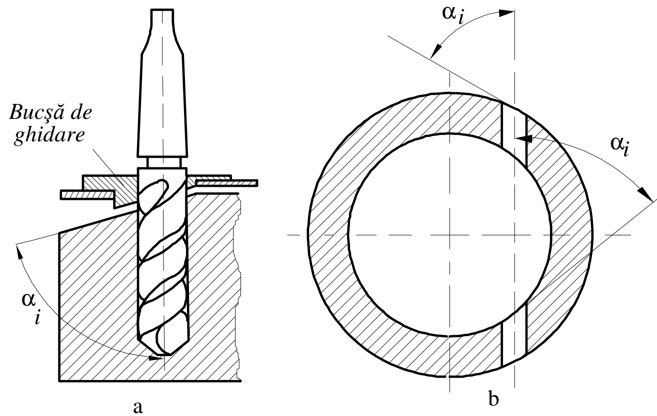


Fig. 8.197. Cazul când intrarea burghiului se face sub un unghi $\alpha_i \neq 90^o$: a – cazul unei găuri înfundate; b - cazul unei găuri străpunse.

Pentru calculul avansului se utilizează relațiile:

$$f_{ax} = C_f \cdot D^{0,6} k_f \tag{8.201}$$

pentru burghiere, adâncire, lărgire, alezare, şi :

$$f_{ax} = p \quad [\text{mm/rot}] \tag{8.202}$$

pentru tarodare, în care C_f este coeficientul de avans, dat în tabele; k_f - coeficient de corecție, determinat experimental în funcție de raportul l/d; p - pasul filetului, în [mm]; D - diametrul sculei, în [mm].

În cazul când intrarea burghiului se face sub un unghi $\alpha_i \neq 90^o$ (fig.8.197), valorile găsite cu relația (8.201) se înmulțesc cu un coeficient k_d, determinat experimental în funcție de valorile lui α_i .

8.10.5.5. Stabilirea forțelor de așchiere

Forțele de așchiere se pot determina la fel ca la strunjirea interioară, dacă se face analogie între cuțitul de strung şi burghiu (fig. 8.198. a). Componentele forței de așchiere, care acționează asupra burghiului, după cele trei direcții *x, y, z* sunt reprezentate în figura 8.198. b.

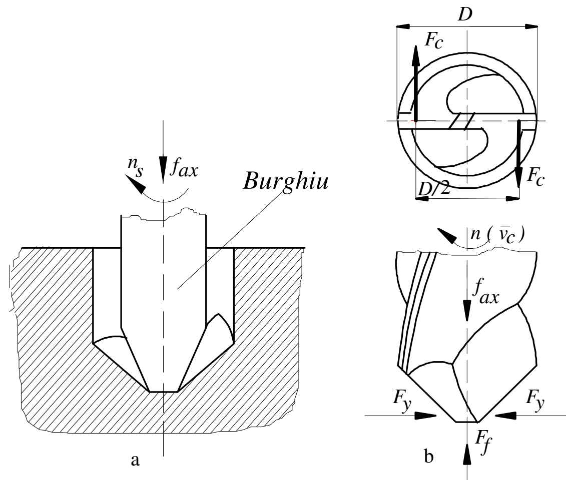


Fig. 8.198. Forțele de așchiere la burghiere:
a - analogia părții active a burghiului cu cuțitul de strung;
b - componentele forței de așchiere: F_f - componenta axială;
F_c - componenta tangențială;
F_y - componenta radială;
f_{ax} - avansul axial; *n* – turația sculei;
$\bar{v}_c$ - viteza mişcării principale de așchiere.

Forța axială F_f se datorește atât rezistenței la înaintare, cât și tăișului principal, ea solicitând burghiul la flambaj. Forța axială se determină cu relația:

$$F_f = C_F \cdot D^{xF} \cdot f_{ax}^{\ yF} \cdot k_F \quad \text{[daN]} \ , \qquad (8.203)$$

în care: C_F; k_F; x_F; y_F sunt coeficienți de corecție determinați experimental; *D* - diametrul sculei, în [mm]; f_{ax} - avansul axial, în [mm/rot].

8.10.5.6. Stabilirea momentelor de așchiere

Forțele principale de așchiere F_c sunt normale pe tăișurile principale ale burghiului și formează un cuplu M_c, care supune burghiul la răsucire:

$$M_c = F_c \cdot \frac{D}{2} = C_M \cdot D^{xM} \cdot f_v^{\,yM} \cdot k_M \quad \text{[daN}\cdot\text{mm]} \ , \qquad (8.204)$$

în care: C_M; k_M; x_M; y_M sunt coeficienți determinați experimental pentru materialele mai des întâlnite.

8.10.5.7. Stabilirea vitezei de așchiere

Viteza economică de așchiere se calculează cu relația:

$$v_{cec} = \frac{C_v \cdot D^{z_v}}{T^m \cdot f_{ax}^{y_v}} \cdot k_v \quad [\text{m/min}] \tag{8.205}$$

pentru burghiere,iar pentru lărgire, adâncire, alezare şi tarodare,cu relația :

$$v_{ec} = \frac{C_v \cdot D^{z_v}}{T^m \cdot a_p^{x_v} \cdot f_{ax}^{y_v}} \cdot k_v \quad [\text{m/min}] \ , \tag{8.206}$$

în care: C_v; k_v; x_v; y_v; z_v sunt coeficienți de corecție determinați experimental, în funcție de natura materialului de prelucrat, natura materialului sculei şi tipul operației; D - diametrul sculei în mm; a_p - adâncimea de aşchiere, în [mm]; f - avansul, în [mm/rot].

8.10.5.8.Stabilirea turației şi a vitezei reale de aşchiere

Cunoscând viteza economică de aşchiere se poate determina turația economică n_{ec} a sculei:

$$n_{ec} = \frac{1\,000 v_{cec}}{\pi D} \quad [\text{rot/min}] \ . \tag{8.207}$$

Deoarece maşinile de găurit nu pot realiza orice valoare a turației calculate, se alege o turație de lucru n_r cea mai apropiată, imediat inferioară lui n_{ec}, sau imediat superioară, dacă $\Delta v < 5\%$. După alegerea turației reale, se calculează viteza reală de aşchiere $v_{c_{real}}$ cu relația:

$$v_{creal} = \frac{\pi D n_r}{1000} \quad [\text{m/min}] \ . \tag{8.208}$$

Se calculează pierderea de viteză $\Delta v = \frac{\pi \cdot D}{1000}\left(\frac{n_{ec} - n_r}{n_{ec}}\right) \cdot 100$ şi se verifică dacă $\Delta v < 5\%$, caz în care se acceptă parametrii regimului de aşchiere. Dacă nu se respectă condiția, atunci se modifică acei parametrii care influențează viteza economică de aşchiere.

8.10.5.9. Verificarea puterii de aşchiere

Puterea efectivă la burghiere P_c se calculează cu relația:

$$P_c = \frac{M_c \cdot n_r}{71\,620 \cdot 1{,}36} \quad [\text{kW}] \ , \tag{8.209}$$

în care M_c este momentul de aşchiere, în [daN/mm]; n_r - turaţia de aşchiere a burghiului sau a piesei, în [rot/ min].

Puterea calculată P_c se compară cu puterea motorului electric P_{ME}, şi dacă se respectă condiţia $P_c \leq P_{ME}$, atunci regimul stabilit este acceptat, dacă nu, se acţionează asupra principalilor parametrii ai regimului de aşchiere.

8.10.6. Tipuri de prelucrări executate pe maşinile de găurit şi pe maşinile de alezat şi frezat orizontale

Pe maşinile de găurit se execută toată gama de suprafeţe corespunzătoare operaţiei de burghiere (fig. 8.180), lărgire (fig.8.181), adâncire (fig. 8.182. a şi b), lamare (fig. 8.183. a şi b), alezare (fig. 8.184) şi tarodare (fig. 8.185).

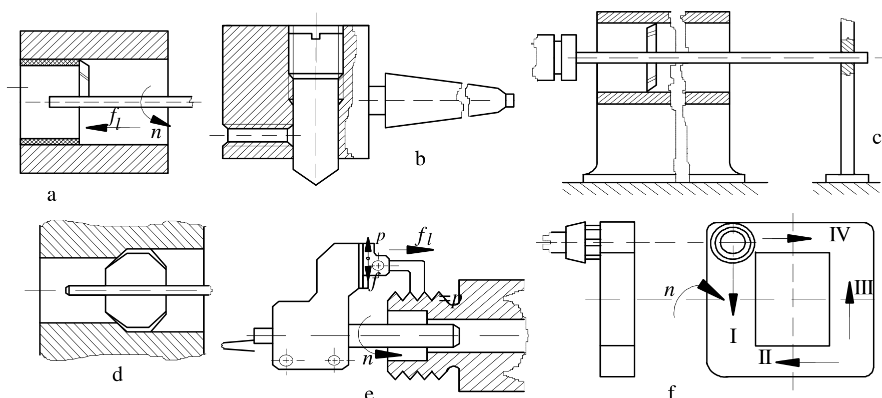


Fig. 8.199. Lucrări executate pe maşina de alezat şi frezat:
a - alezare interioară; b - port-sculă cu coadă conică; c - port-sculă de tip bara cilindrică; d - calibrarea găurilor de diametru mare; e - filetarea pe maşini de alezat; f - frezarea suprafeţelor frontale.

Maşinile de alezat şi frezat asigură o gamă foarte largă de prelucrări, ele putând prelucra complet piesele mari şi de formă complicată la o singură prindere sau un număr redus de prinderi. Operaţiile de burghiere, lărgire, adâncire, lamare, alezare şi tarodare se execută analog ca la maşinile de găurit verticale, scula executând mişcarea principală de rotaţie şi mişcarea de avans (rareori, mişcarea de avans o execută piesa fixată pe masa maşinii). Alezarea găurilor cu diametru mai mic de 50 mm se face cu alezoare clasice, pentru diametre mai mari însă, alezarea constă dintr-o strunjire interioară cu diferite tipuri de scule (fig. 8.199. a), cel mai frecvent utilizându-se unul sau două cuţite de strung prinse într-o port-sculă cu coadă conică (fig. 8.199. b) sau pe o bară cilindrică (fig. 8.199. c). La prelucrarea găurilor de diametru mare, în loc de cuţite se folosesc lame libere, care se autocentrează şi servesc şi la calibrarea găurilor (fig. 8.199. d). Filetarea pe

maşinile de alezat şi frezat se poate face cu tarodul sau cu cuțitul (fig. 8.199. e). Frezarea suprafețelor frontale se execută cu ajutorul frezelor cilindro-frontale sau frontale, fixate pe platou sau în arborele principal. În acest caz frezarea (fig.8.199. f) se execută prin deplasarea succesivă a sculei în direcție verticală (I şi III) şi a semifabricatului în direcție transversală (II şi IV) aşezat pe masa maşinii.

Pentru asigurarea preciziei de prelucrare, pe aceste maşini este necesară respectarea anumitor principii de proiectare a pieselor.

Observație. Determinarea tuturor coeficienților de corecție şi a parametrilor necesari stabilirii condițiilor de lucru la burghiere, lărgire, alezare, adâncire şi tarodare se face folosind Manualul Inginerului Mecanic volumele I, II şi III şi normative corespunzătoare.

8.11. PRELUCRAREA PRIN BROŞARE

8.11.1. Definire. Scheme de principiu

Broşarea este procedeul de prelucrare prin aşchiere ce rezultă din combinarea unei mişcări principale de aşchiere de translație sau rotație executată de sculă cu o mişcare de avans constructiv.

Broşarea este procedeul de prelucrare prin aşchiere a suprafețelor plane sau profilate, interioare sau exterioare, executată cu ajutorul unor scule complexe cu mai multe muchii tăietoare, care execută mişcarea principală de aşchiere, nefiind necesară mişcarea de avans (rezultă din construcția broşei). Schema de principiu a procedeului se prezintă în figura 8.200. Scula aşchietoare (broşa) 1 este prevazută cu mai mulți dinți 2. Fiecare dinte se caracterizează printr-o supraînălțare f_z, ceea ce îi permite să îndepărteze din adaosul de prelucrare un nou strat de material de înălțime f_z. După trecerea ultimului dinte al broşei, se obține forma, dimensiunea şi calitatea finală a suprafeței prelucrate prin broşare.

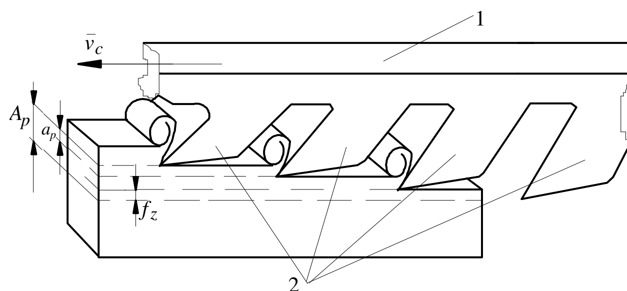


Fig. 8.200. Schema de principiu a prelucrării prin broşare: 1 - corpul broşei; 2 - dinții aşchietori: f_z - avans constructiv pe dinte; a_p - adâncimea de aşchiere; A_p - adaos de prelucrare.

Procedeul de broşare se caracterizează prin următoarele:

- foloseşte o sculă de construcție specială;

- generarea suprafeței se face cu generatoare materializată de muchia aşchietoare a sculei;

- procedeul se realizează fără mişcări de avans, pentru generarea oricărei suprafețe fiind suficientă doar mişcarea principală de aşchiere cu viteza $\overline{v}_c$;

- prelucrarea suprafeței se face printr-o singură trecere a broşei;

- scula fiind deosebit de scumpă şi greu de realizat, procedeul se aplică numai în cazul unor producții de serie mare şi masă;

- productivitatea procedeului de prelucrare prin broşare este de 3...10 ori mai mare decât la alte procedee de prelucrare, deoarece nu mai sunt necesare alte mişcări (de măsurare, de pozționare, de reglare, de pregătire etc.);

- precizia de prelucrare se încadrează în calitățile 5...7 ISO, iar rugozitatea suprafeței R_a = 0,2...3,2 μm.

8.11.2. Generarea suprafețelor prin broşare

Prin broşare se pot prelucra o varietate foarte mare de suprafețe interioare sau exterioare, plane sau profilate (fig 8.201). Generatoarea este materializată de muchia aşchietoare a broşei, iar directoarea rezultă din modul de generare, putând fi rectilinie, circulară, elicoidală.

Din punct de vedere al schemei de prelucrare (modul de împărțire al adaosului de prelucrare şi succesiunea îndepărtării lui), se deosebesc:

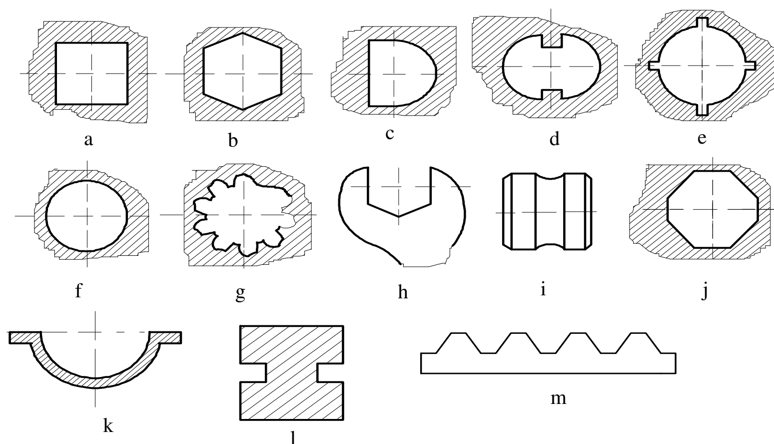


Fig. 8.201. Exemple de suprafețe obținute prin broşare:
a; b; c; d; f; j - găuri interioare de diferite forme; e; g - caneluri, danturi interioare;
h; I; k; l - suprafețe exterioare profilate; m - dantura unor cremaliere.

- *broşarea după profil* (fig 8.202. a), care se realizează cu broşe la care profilul dinților este asemenea cu profilul secțiunii transversale a suprafeței de

prelucrat, ultimul dinte fiind identic cu profilul suprafeței de obținut. Supraînălțarea pe dinte f_z are direcția normală pe profilul suprafeței de prelucrat, iar lățimea așchiei este mare, corespunzând conturului dintelui broșei. Pentru ca forțele de așchiere să nu depășească anumite limite, impuse de rezistența broșei, este necesar ca grosimea așchiei să fie mică (0,02...0,05 mm). Grosimea mică a așchiei presupune un număr mare de dinți (deci broșă lungă) și dificultăți constructive de realizare a supraînălțării între dinți. Dificultățile legate de construcția broșei sunt compensate de o precizie mare și de o rugozitate fină a suprefeței prelucrate;

- *broșarea prin generare* (fig 8.202. b), care se realizează cu broșe la care profilul dinților este diferit de cel al suprafeței de obținut, având formă rectilinie sau curbilinie, formând treptat, pe măsura îndepărtării adaosului de prelucrare, profilul suprafeței de prelucrat. Și în acest caz se așchiează cu grosimi mici, iar lățimea așchiei se micșorează pe măsură ce se apropie de forma finală a suprafeței. Se obține o precizie dimensională și o netezime inferioară primei scheme, dar sculele sunt mai simple;

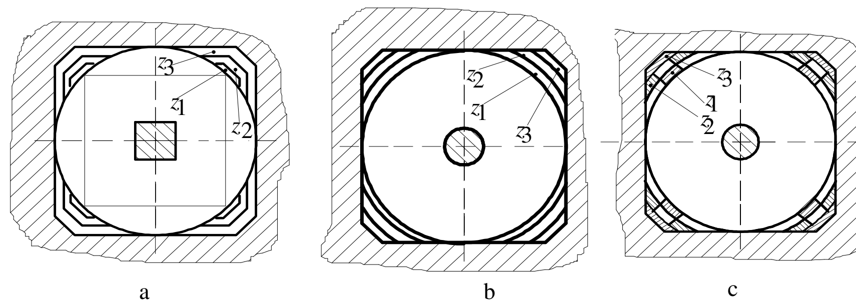


Fig. 8.202. Scheme de așchiere la broșare:
a - așchiere după profil; b - așchiere prin generare; c - așchiere progresivă.

- *broșarea progresivă* (fig 8.202. c), care se realizează cu broșe la care dinții sunt împărțiți pe porțiuni mai mici și amplasați pe corpul broșei în așa fel încât intrarea lor în procesul de așchiere să se facă progresiv. Primul strat este îndepărtat pe toată lungimea găurii sub formă de canale de către dinții z_1, apoi intră în așchiere dinții z_2, urmați de dinții z_3 și, în final, dinții părții de calibrare, care au profilul identic cu cel al piesei ce trebuie să fie obținută. În acest caz broșele sunt mult mai lungi, în schimb forțele de așchiere sunt mult mai mici, iar supraînălțările pot fi mai mari.

În funcție de poziția suprafeței de prelucrat în raport cu altă suprafață, precum și în funcție de felul mișcărilor executate de broșe sau semifabricate, se disting următoarele metode de broșare:

- *broșarea liberă* (fig 8.203. a) se aplică atunci când suprafața de prelucrat nu este legată prin cote de alte suprefețe. Prin broșare se schimbă doar forma și dimensiunile unei găuri prelucrate în prealabil. Semifabricatul 1 este așezat pe

reazemul suport 2, montat pe corpul 3 al maşinii de broşat. Acţionând broşa 4, în direcţia mişcării principale cu viteza $\overline{v}_c$, rezultă suprafaţa prelucrată la dimensiunile cerute;

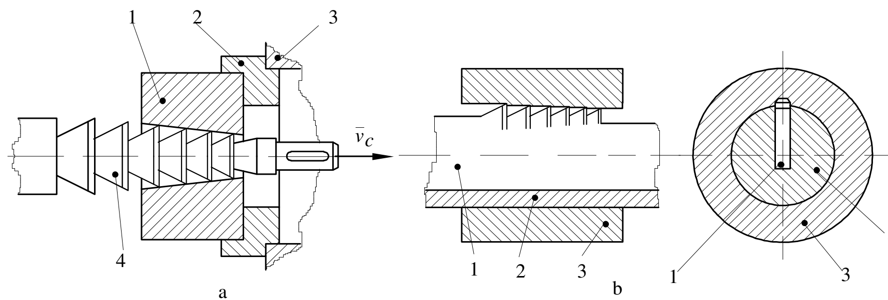


Fig. 8.203. Metode de broşare:
a - broşarea liberă;1 - semifabricat; 2 - reazeme suport; 3 - masa maşinii de broşat; 4 - broşa - sculă;
b - broşarea coordonată; 1 - broşa; 2 - ghidaj; 3 - semifabricat.

- *broşarea coordonată* (fig 8.203. b) se aplică atunci când suprafaţa de prelucrat este legată prin cote de alte suprafeţe ale piesei. În acest caz se folosesc dispozitive care poziţionează broşa faţă de suprafeţele de bază ale semifabricatului. Broşa 1 este ghidată de piesa 2, montată în alezajul semifabricatului 3 şi al platoului maşinii de broşat;
- *broşarea circulară* (fig 8.204) se foloseşte la prelucrarea suprafeţelor cilindrice sau conice, netede sau profilate, exterioare sau interioare. Broşa 1 are dinţi înfăşuraţi după o spirală şi execută mişcarea principală de aşchiere I, în timp ce piesa 2 execută o mişcare de avans II, în lungul dintelui broşei;

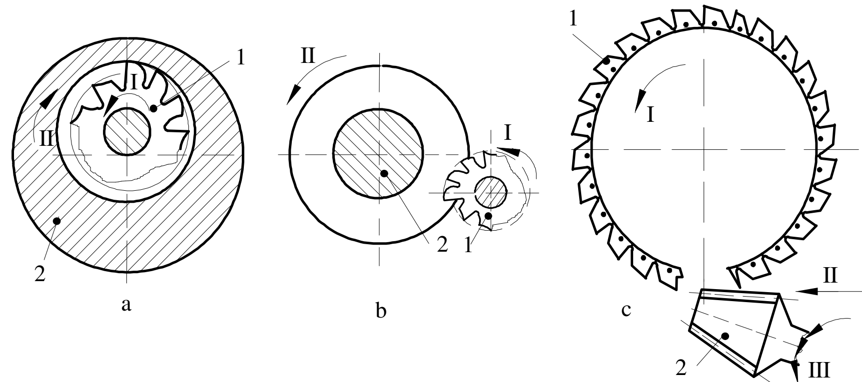


Fig. 8.204. Broşarea circulară:
a - interioară; b - exterioară; c - broşarea circulară a roţilor dinţate; 1 - broşa-sculă; 2 - piesa-semifabricat; I - mişcarea principală de aşchiere; II - mişcarea de avans ; III - mişcarea de poziţionare.

- *broşarea elicoidală* se utilizează în cazul executării canalelor elicoidale cu unghiuri de înclinare ω mici. Se foloseşte o broşă circulară pe care dinții sunt amplasați după înfăşurătoarea unei elice. În timpul lucrului, aceste broşe execută o miscare elicoidală datorată unghiului de înclinare $\lambda \neq 0$.

8.11.3. Geometria sculelor aşchietoare.Tipuri de scule utilizate la broşare

Scula folosită la prelucrarea prin broşare poartă denumirea de *broşă*. Forma, dimensiunile şi profilul părții active sunt în funcție de forma suprafeței de prelucrat, de schema de aşchiere şi de metoda de broşare adoptată. O anumită broşă poate fi utilizată numai la prelucrarea unui profil bine determinat, într-un anumit material şi pe o lungime dată. Părțile principale ale unei broşe clasice de interior se prezintă în figura 8.205. a. Se disting urmatoarele părți: l_1 - *coada broşei* - face legătura între sculă şi maşina - unealtă; l_2 - *partea de ghidare din față* - ghidează broşa pe suprafața de prelucrat; l_3 - *partea activă a broşei* - formată din dinții aşchietori, de finisare, de calibrare şi de netezire (uneori); l_4 - *partea de ghidare din spate* – cu rol de protecție şi ghidare a broşei; l_5 - *coada din spate* – cu rol de prindere, în vederea tragerii.

Prin construcție broşa este o sculă foarte lungă, sveltă, motive pentru care execuția, tratamentul termic şi întreținerea ei ridică probleme deosebite (deci un

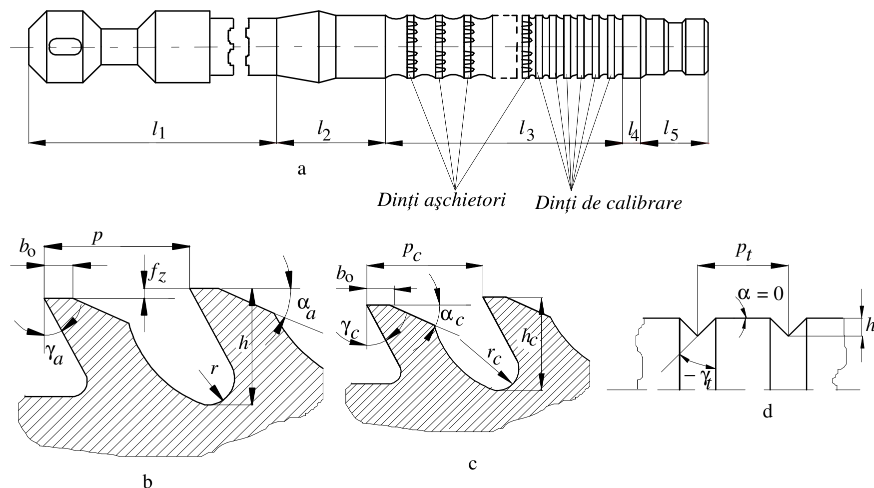


Fig. 8.205. Construcția broşei:
a - elementele constructive; b - geometria dinților aşchietori; c - geometria dinților de calibrare; d - geometria dinților de netezire şi tasare: l_1 - coada broşei; l_2 - partea de ghidare din față; l_3 - partea activă; l_4 - partea de ghidare din spate; l_5 - coada din spate a broşei; b_0 – fațetă; f_z - avansul pe dinte (supraînățarea); α; γ - unghiul de aşezare respectiv de degajare; r – raza de racordare a canelurilor; p – pasul dinților; h – înălțimea dinților.

cost ridicat al sculei).

Geometria dinților așchietori ai broșei se prezintă în figura 8.205. b, ai dinților de calibrare în figura 8.205. c, iar a dinților de netezire în figura 8.205. d. Se constată că la dinții așchietori există supraînățarea pe dinte f_z, în timp ce la dinții de calibrare lipsește. Unghiul de degajare γ_a se alege corespunzator materialului de prelucrat, în timp ce valoarea unghiului de așezare α_a are valori mici (1...3°), impuse de pericolul de decalibrare, datorat reascuțirii. Datorită unghiurilor de degajare negative ale dințiilor de netezire, aceștia execută o tasare a materialului, îmbunătățind rugozitatea suprafeței și duritatea superficială.

Broșele se clasifică după mai multe criterii:

- după *sensul forței de acționare:* broșe ce lucrează prin tragere (fig. 8.206. a) sau prin împingere (fig. 8.206. b);

- după *natura suprafețelor prelucrate*: broșe pentru interior (fig 8.206. a...g) și broșe pentru exterior (fig 8.206. h);

- după *profilul secțiunii prelucrate:* broșe pentru găuri rotunde (fig.8.206. a și b) broșe pentru canale de pană (fig.8.206. d), broșe pentru profile poligonale(fig. 8.206. c), pentru caneluri (fig. 8.206. e), pentru danturi interioare sau exterioare, pentru suprafețe combinate etc;

- după *constructia dinților*: broșe de așchiere (fig. 8.206. a….e) și broșe de netezire (fig. 8.206. f);

- după *natura construcției:* broșe monobloc, broșe cu dinți demontabili (pentru diametre mai mari de 80 mm), broșele elicoidale (fig. 8.206. g) folosite la prelucrarea găurilor de diametru mic ($d < 15$ mm) și lungime mare ($L > 100$ mm).

8.11.4. Mașini-unelte și dispozitive specifice la prelucrarea prin broșare

Mașinile de broșat au o construcție simplă și o rigiditate mare, asigurând forțe mari în direcția mișcării principale. Clasificarea mașinilor de broșat se face după mai multe criterii:

- după *natura suprafețelor prelucrate:* mașini de broșat interior și mașini de broșat exterior;

- după *direcția mișcării principale*: mașini cu destinație generală (universale) și mașini speciale de broșat;

- după *modul de lucru*: cu acționare discontinuă sau cu acționare continuă;

- după *sensul de acționare asupra broșei*: mașini de broșat prin tragere și mașini de broșat prin împingere;

- după *gradul de automatizare:* mașini de broșat neautomatizate (universale), semiautomate și automate.

Construcția unei mașini de broșat ține cont de următoarele caracteristici:

- particularitățile procedeului de broșare, care presupun existența numai a lanțului cinematic principal;

- lungimea mare a cursei rectilinii de lucru (datorate lungimii mari a

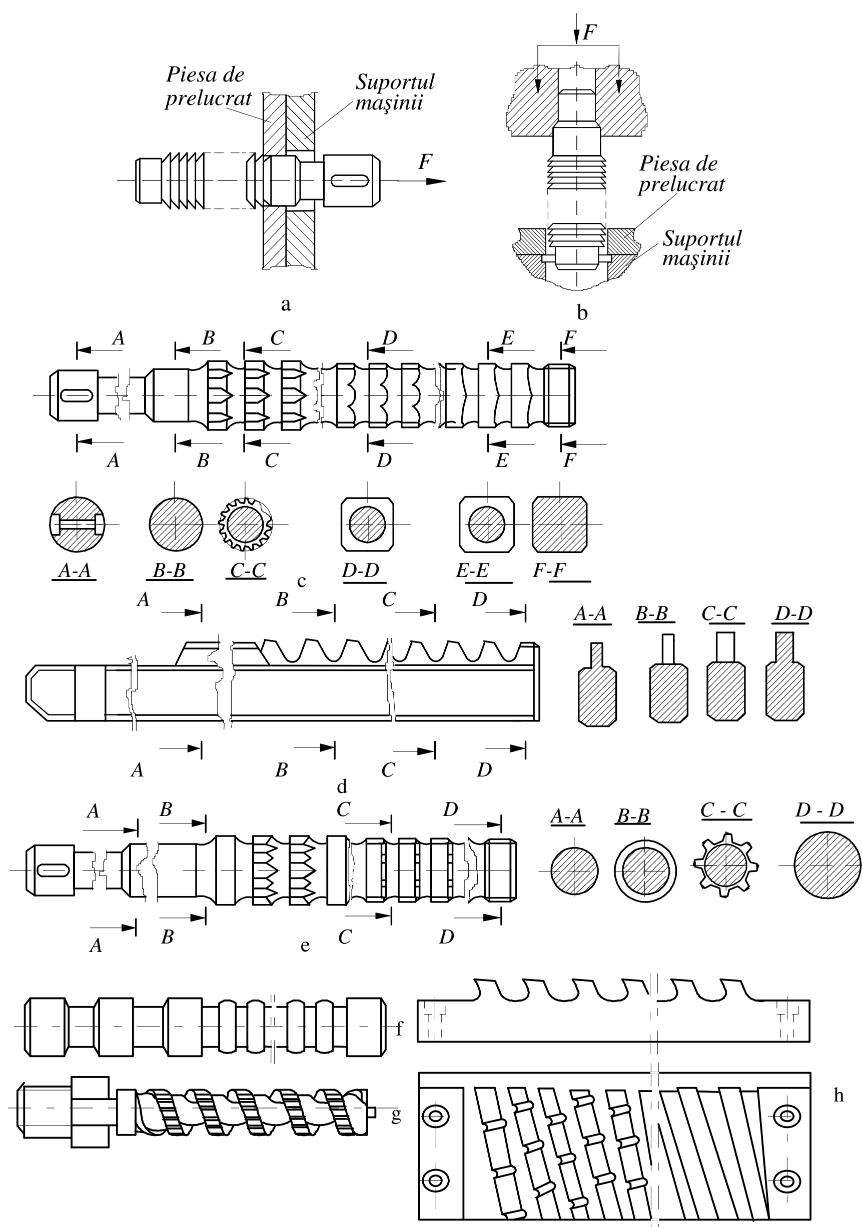


Fig. 8.206. Diferite tipuri de broșe:
a - broşă care lucrează prin tragere; b - broşă care lucrează prin împingere; c - broşă poligonală; d - broşă pentru canal de pană; e - broşă pentru caneluri; f - broşă pentru netezire; g - broşă elicoidală; h - broşă pentru suprafețe plane exterioare.

broşei);

- forţele de aşchiere foarte mari (forţa principală de aşchiere F_c poate ajunge până la valori de $20 \cdot 10^3$N);

- discontinuitatea (în majoritatea cazurilor) operaţiei de broşare, care influenţează posibilităţile de automatizare ale maşinii.

Schema de principiu a unei maşini de broşat orizontală se prezintă în figura 8.207.

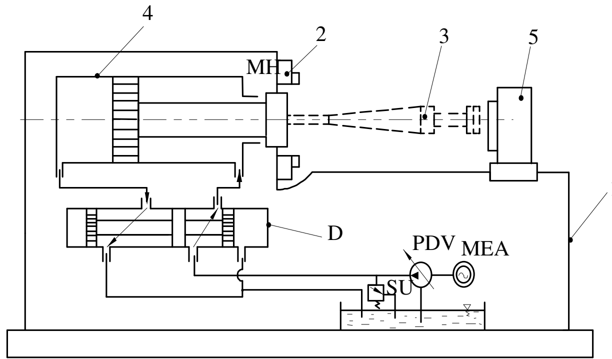


Fig. 8.207. Schema de principiu a unei maşini de broşat interior - orizontală: 1 - batiu; 2 - dispozitivul de prindere a piesei; 3 - dispozitivul de prindere a bucşei; 4 - motorul hidraulic principal; 5 - dispozitiv de prindere auxiliar; PDV - pompă cu debit variabil; MEA - motor electric asincron; D - distribuitor hidraulic; MH - motor hidraulic; SU - supapă de siguranţă cu sens unic.

Pe batiul 1 sunt fixate dispozitivul de prindere 2 al piesei, dispozitivul de prindere 3 al broşei, motorul de acţionare principal 4, dispozitivul de prindere auxiliar 5 şi distribuitorul D. Uleiul debitat de pompa cu debit variabil PDV, acţionată de motorul electric MEA, alimentează motorul hidraulic principal MH, prin intermediul distribuitorului D. Variaţia vitezei principale de aşchiere se face

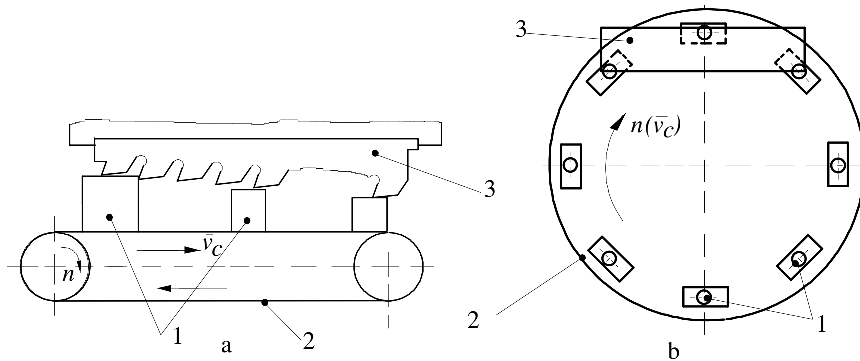


Fig. 8.208. Maşini de broşat cu acţionare discontinuă:
a - cu lanţ; b - cu platou rotitor: 1 - piesa de prelucrat; 2 - transmisie cu lanţ (a) sau platou rotitor (b); 3 - broşa - sculă.

prin variația debitului pompei PDV, iar protecția la suprasarcină se face prin supapa de siguranță SU.

Pentru o productivitate sporită şi piese mici, se folosesc maşinile de broşat continuu, care pot fi: cu lanț (fig. 8.208. a) sau cu platou rotitor (fig. 8.208. b). La maşinile de broşat cu lanț, piesele de prelucrat 1 sunt montate pe o transmisie cu lanț 2 şi trec prin fața unei broşe fixe 3, mişcarea principală de aşchiere fiind o mişcare rectilinie efectuată de piesă cu viteza $\overline{v}_c$. La maşinile de broşat cu platou circular, piesele 1 sunt montate pe platoul 2, care se roteşte cu turația $n(\overline{v}_c)$ în fața broşei fixe 3. În ambele cazuri prinderea semifabricatului şi desprinderea piesei se fac din mers, productivtitatea prelucrării fiind de câteva ori mai mare decât la maşinile de broşat cu acțiune discontinuă.

8.11.5. Stabilirea condițiilor de lucru la broşare

Stabilirea condițiilor de lucru la broşare se face ținând cont de următoarele aspecte: forma şi dimensiunile semifabricatului, precizia dimensională şi rugozitatea suprafeței prelucrate, caracteristicile mecanice şi starea materialului de prelucrat, natura materialului de prelucrat, construcția şi parametrii geometrici ai sculei aşchietoare, tipul suprafeței de prelucrat, caracterul producției şi condițiile în care se desfăşoară procesul de aşchiere.

Principalele etape ce trebuie parcurse în vederea stabilirii condițiilor de lucru la broşare sunt: alegerea sculei aşchietoare; stabilirea durabilității economice şi a uzurii admisibile a sculei aşchietoare; stabilirea adâncimii de aşchiere şi a numărului de treceri; stabilirea avansului de aşchiere; stabilirea forțelor de aşchiere; stabilirea vitezei de aşchiere; verificarea puterii de aşchiere.

8.11.5.1. Alegerea sculei aşchietoare

Se face în funcție de tipul prelucrării, forma suprafeței de prelucrat, schema de aşchiere adoptată, caracterul procesului de broşare,dimensiunile suprafeței de prelucrat, caracterul producției şi calitatea suprafeței prelucrate.

8.11.5.2. Stabilirea durabilității economice şi a uzurii maxim admisibile a sculei aşchietoare

Durabilitatea economică trebuie să fie mai mare, datorită costului ridicat şi a complexității tehnologice a sculei. Fiind o sculă de finisare, se consideră că o uzură h = 0,3...0,4 mm este limita superioară, căreia îI corespunde o durabilitate efectivă T_{ef} = 90...480 minute.

8.11.5.3. Stabilirea adâncimii de aşchiere şi a numărului de terceri

Se face în funcție de schema de generare, profilul suprafeței de prelucrat, natura materialului de prelucrat şi forma dinților broşei.

8.11.5.4. Stabilirea avansului de aşchiere

Avansul pe dinte f_z se alege în funcţie de tipul prelucrării, natura materialului de prelucrat şi schema de generare. Avansul pe dinte s-a stabilit experimental între 0,02 şi 0,3mm. Acesta nu se ia mai mic de 0,02 mm, deoarece în loc de aşchiere s-ar produce numai o tasare a materialului, şi nici mai mare de 0,3 mm, deoarece ar periclita rezistenţa sculei.

8.11.5.5. Stabilirea forţelor de aşchiere

Asupra dinţilor broşei, în timpul aşchierii, rezistenţele de aşchiere determină forţe de aşchiere pe toate cele trei direcţii principale F_x, F_y, F_z. Forţa F_y se anulează recipoc (cazul broşării libere), iar în cazul broşării ghidate este preluată de ghidajele maşinii de broşat. Forţa principală de aşchiere $F_z = F_c$ este preluată de dispozitivele de acţionare principală şi are expresia:

$$F_c = C_p \cdot f_z^{y_F} \cdot d \cdot z_{sim} \tag{8.210}$$

pentru alezaje cilindrice de diametru d;

$$F_c = C_p \cdot f_z^{y_F} \cdot b \cdot z_{sim} \tag{8.211}$$

pentru suprafeţe plane de lăţimea b, şi :

$$F_c = C_p \cdot f_z^{y_F} \cdot b \cdot N \cdot z_{sim} \tag{8.212}$$

pentru butuci canelaţi cu N caneluri de lăţime b, în care: f_z este avansul pe dinte; z_{sim} - numărul de dinţi aflaţi simultan în aşchiere; C_p; y_F - coeficienţi de corecţie aleşi în funcţie de natura materialului de prelucrat şi condiţiile de achiere;

8.11.5.6. Stabilirea vitezei de aşchiere

Se determină din condiţia realizării durabilităţii optime cu relaţia:

$$v_{cec} = \frac{C_v}{T^m \cdot f_z^{y_v}} \quad , \tag{8.213}$$

în care T este durabilitatea optimă (90…480 minute); f_z - avansul pe dinte, în [mm]; C_v; y_v; m - coeficienţi de corecţie determinaţi pe cale experimentală.

De reţinut că fiind o operaţie de finisare, trebuie evitate depunerile pe tăiş, din acest motiv vitezele de aşchiere la broşare sunt mici, nedepăşind valori de 15...20 m/min.

8.11.5.7. Verificarea puterii de aşchiere

Se face calculând puterea reală de aşchiere P_c cu relaţia:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{6\,000 \cdot \eta} \quad [\text{kW}] \tag{8.214}$$

şi comparând-o cu puterea motorului electric de acționare (η este randamentul maşinii de broşat) trebuie îndeplinită condiția:

$$P_c < P_{MEA} \quad . \tag{8.215}$$

Observație. Determinarea tuturor coeficienților de corecție şi a parametrilor necesari stabilirii conditiilor de lucru la brosare se face folosind Manualul Inginerului Mecanic volumele I,II şi III şi normative corespunzătoare.

8.11.6. Tipuri de prelucrări executate pe maşinile de broşat

Prin broşare se poate prelucra o varietate foarte mare de suprafețe interioare sau exterioare, plane sau profilate, de configurație simplă sau complexă. Procedeul este deosebit de eficient în cazul finisării următoarelor categorii de suprafețe:

- suprafețe poligonale interioare (fig. 8.201. a, b, c, j) sau exterioare (fig. 8.201. h);
- suprafețe cilindrice interioare (fig. 8.201. f) sau exterioare (fig. 8.201. k);
- suprafețe profilate interioare (fig. 8.201. c şi d) sau exterioare (fig. 8.201. I şi l);
- suprafețe canelate (fig. 8.201. e şi g);
- cremaliere (fig. 8.201. m) şi roți dințate cilindrice sau conice (fig. 8.201.c).

Rugozitatea suprafețelor prelucrate este cuprinsă între (0,2…0,8)µm, iar precizia dimensională corespunde claselor de precizie 1…4 conform ISO.

8.12. PRELUCRAREA PRIN RECTIFICARE

8.12.1. Definire. Scheme de principiu

Rectificarea este procedeul de prelucrare prin aşchiere ce rezultă din combinarea unei mişcări principale de aşchiere, totdeauna de rotație şi totdeauna executată de sculă cu mişcări de avans rectiliniu, circular sau combinat executate de piesă şi/sau sculă.

Rectificarea este procedeul de generare prin aşchiere a suprafețelor cu ajutorul unor scule abrazive (o mulțime de granule abrazive), a căror vârfuri ascuțite şi muchii au orientări şi forme stocastice, în scopul obținerii unei mai mari precizii dimensionale şi a unei calități superioare a suprafețelor.

Schema de principiu la prelucrarea prin rectificare (fig. 8.209) este asemănătoare cu cea de la frezare, cu deosebire că granulele abrazive, față de dinții frezei, sunt repartizate arbitrar, lucrează cu unghiuri de degajare γ foarte difertite şi cu viteze de aşchiere foarte mari.

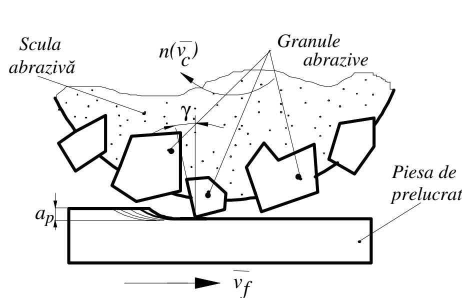


Fig. 8.209. Schema de principiu la rectificare: $n(\bar{v}_c)$ - turația discului abraziv (viteza mişcării principale de aşchiere): $\bar{v}_f$ - viteza mişcării de avans; a_p - adâncimea de aşchiere; γ - unghiul de degajare.

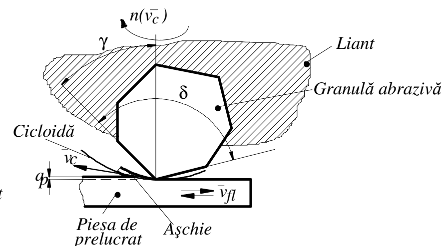


Fig. 8.210. Modelul aşchierii la rectificare: $\bar{v}_c$ - viteza mişcării principale de aşchiere; $\bar{v}_{fl}$ - viteza mişcării de avans longitudinal; γ şi δ - unghiul de degajare şi respectiv de aşchiere.

În general, rectificarea ca procedeu de prelucrare prin aşchiere se aplică:

- pentru realizarea unor precizii dimensionale ridicate şi a unor calități superioare ale suprafețelor prelucrate;
- pentru prelucrarea unor piese confecționate din materiale ce nu permit alt procedeu de prelucrare eficient (piese din oțel călit, din fontă dură, oțeluri dure, materiale metalice şi nemetalice dure şi extradure etc.);
- pentru prelucrarea unor piese la care ecruisarea suprafețelor prelucrate să fie minimă.

8.12.2. Generarea suprafețelor prin rectificare

Rectificarea este un procedeu de aşchiere complex având particularități specifice, care îl deosebesc de celelalte procedee de prelucrare prin aşchiere:

- spre deosebire de dinții frezei, granulele abrazive ale pietrei de rectificat au poziții diferite, astfel că unghiul de degajare γ este uneori negativ (fig. 8.209), fapt ce face ca aşchierea să se producă cu deformații plastice şi la temperaturi foarte înalte (peste 1 000^{o}C), atât în zona de aşchiere, cât şi pe porțiunile de contact granulă - suprafață de prelucrat;
- piatra abrazivă nu are un tăiş continuu asemănător dinților frezei, ceea ce face ca pe suprafața prelucrată, perpendicular pe direcția axului pietrei abrazive să apară urme ale granulelor abrazive;

- în timp ce piesa realizează o traiectorie rectilinie, cu viteza $\bar{v}_{fl}$ (fig. 8.210), fiecare granulă are o traiectorie circulară cu viteza $\bar{v}_c$, din compunere rezultând o traiectorie cicloidă pentru muchia granulei;

- în majoritatea cazurilor directoarea se obține cinematic, ca înfășurătoare a pozițiilor succesive ale unei curbe cinematice;

- mișcările necesare generării suprafețelor prin rectificare sunt diferite în funcție de configurația geometrică a suprafețelor, astfel pentru generarea unei suprafețe plane (fig. 8.211. a) sunt necesare: mișcarea de rotație a sculei n, care este mișcarea principală de așchiere, cu viteza $\bar{v}_c$, mișcarea de avans executată de piesă sau de sculă, cu viteza $\bar{v}_{fl}$ și mișcarea de poziționare, executate de sculă sau piesă (f_p); pentru generarea suprafețelor cilindrice exterioare (fig. 8.211. b) sunt necesare: mișcarea de rotație a sculei (mișcarea principală de așchiere) cu viteza $\bar{v}_c$, mișcarea de avans circular a pietrei cu viteza $\bar{v}_{fc}$ și de poziționare executată de sculă sau piesă (f_p); pentru generarea suprafețelor cilindrice interioare (fig. 8.211. c) sunt necesare: mișcarea de rotație ale sculei (mișcarea principală de așchiere) executata cu viteza $\bar{v}_c$, mișcarea de avans a piesei executată cu viteza $\bar{v}_{fc}$ și de poziționare executată de sculă sau piesă (f_p);

- grosimea așchiei rezultate la rectificare este variabilă, unghiul θ al penei așchiei având un rol deosebit în fizica formării așchiei (fig.8.212). Reprezentând două traiectorii succesive T_1 și T_2 ale unei granule, în cazul celor trei metode, se constată modul de variație al grosimii așchiei și modul de desprindere al acesteia;

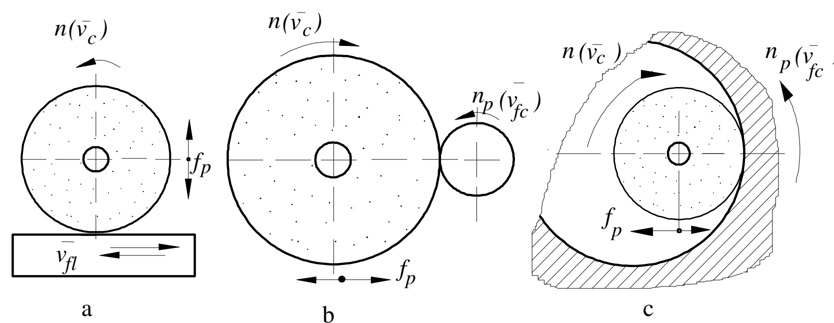


Fig. 8.211. Metode de generare prin rectificare:
a - suprafețe plane; b - suprafețe cilindrice exterioare; c - suprafețe cilindrice interioare; *n* – turația discului; $\bar{v}_c$ - viteza mișcării principale de așchiere; n_p – turația piesei de prelucrat; $\bar{v}_{fc}$ - viteza de avans circular; f_p – avansul de pătrundere; $\bar{v}_{fl}$ - viteza de avans longitudinal.

- așchiile desprinse sunt de dimensiuni microscopice, de aceea se poate face un control mult mai riguros al calității suprafetelor prelucrate.

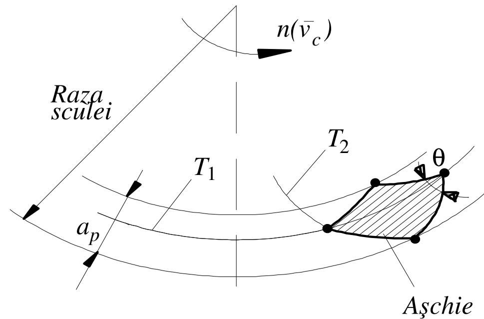


Fig. 8.212. Formarea aşchiei la rectificare: a_p - adâncimea de aşchiere; T_1, T_2 –traiectoriile succesive ale unei granule abrazive.

Schemele de aşchiere la rectificare sunt foarte diferite în funcţie de configuraţia geometrică a suprafeţelor, de gradul de netezime şi precizia dimensională a suprafeţelor prelucrate.Cele mai des întâlnite scheme de aşchiere la rectificare sunt:

- *rectificarea rotund exterioară* care se poate realiza între vârfuri sau fără centre. Rectificarea rotund exterioară între vârfuri poate fi *cu avans longitudinal*

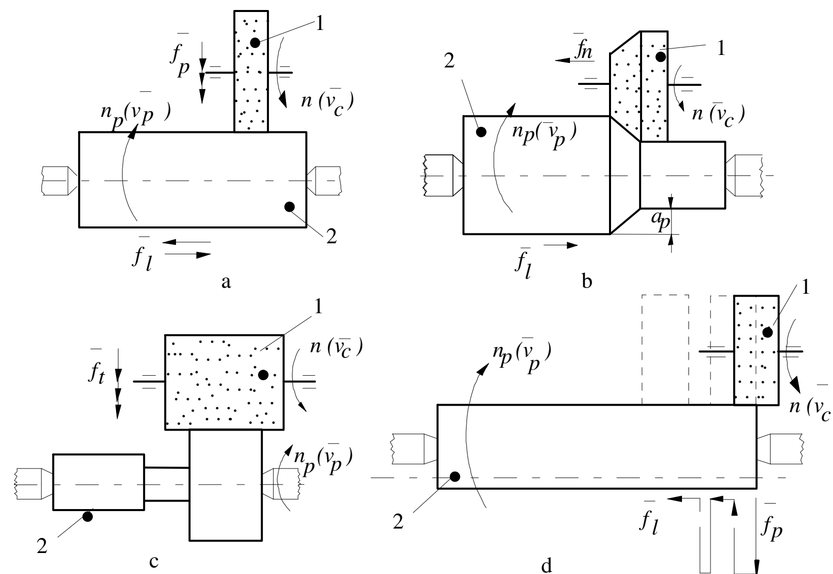


Fig. 8.213. Scheme de principiu la rectificarea rotund exterioară:
a - cu avans longitudinal; b - cu avans în adâncime; c - cu avans transversal; d - cu avans în trepte:
1 - scula aşchietoare; 2 - piesa de prelucrat; $n(\bar{v}_c)$ - turaţia discului abraziv (viteza mişcării principale de aşchiere); $n_p(\bar{v}_{fc})$ - turaţia piesei de prelucrat (viteza de avans circular); f_l - avansul longitudinal; f_t - avansul transversal; f_p - avansul de pătrundere; f_n - avansul în adâncime.

(fig. 8.213. a), *în adâncime* (fig. 8.213. b), *cu avans transversal* (fig. 8.213. c), *cu avans în trepte* (fig. 8.213. d).

Rectificarea rotund exterioară între vârfuri se aplică în special la prelucrarea pieselor de tipul axelor, arborilor, tijelor de lungime şi gabarit relativ mare.

Se pot prelucra şi suprafețe conice exterioare cu ajutorul discurilor abrazive conice unghiulare (fig. 8.214. a), prin înclinarea mesei maşinii cu unghiul α (fig. 8.214. b), prin înclinarea păpuşii port-piatră (fig. 8.214. c) sau prin înclinarea păpuşii port-piesă (fig. 8.214. d). După aceeaşi schemă de aşchiere se rectifică şi suprafețele profilate, fie prin copiere (fig. 8.215. a) cu scule abrazive obişnuite, fie cu scule abrazive profilate (fig. 8.215. b).

Rectificarea rotund exterioară fără centre (fig. 8.216) se poate face cu avans longitudinal (fig. 8.216. a) sau cu avans transversal (fig. 8.216. b).

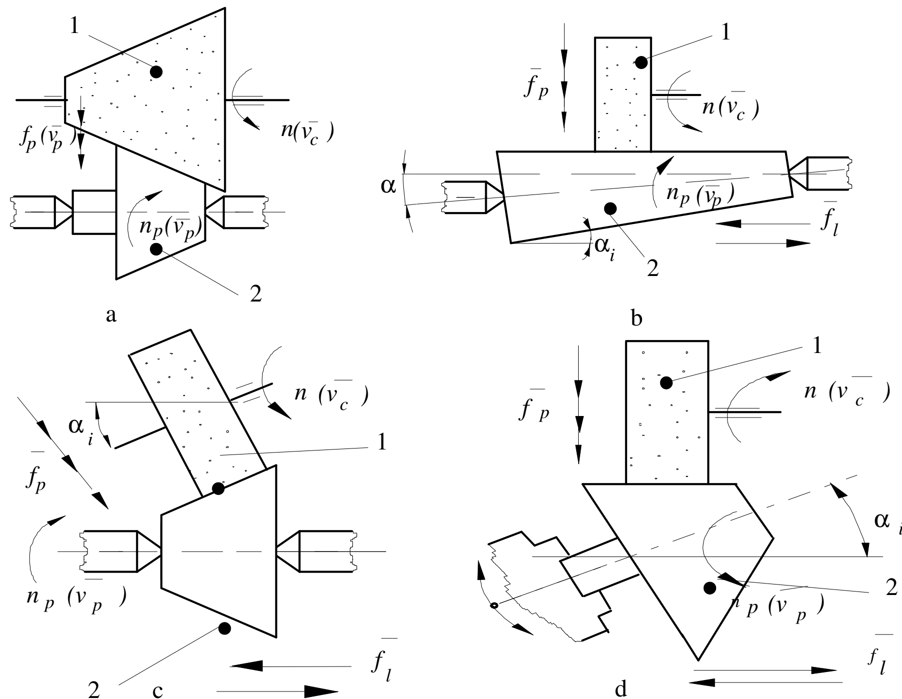


Fig. 8.214. Scheme de principiu la rectificarea rotund exterioară a suprafețelor conice: a - cu discuri abrazive unghiulare; b - prin înclinarea mesei cu unghiul α_i ; c - prin înclinarea păpuşii port-piatră; d - prin înclinarea păpuşii port-piesă: 1 - scula aşchietoare; 2 - piesa de prelucrat; $n(\overline{v}_c)$ - turația discului abraziv (viteza mişcării principale de aşchiere); $n_p(\overline{v}_{fc})$ - turația piesei de prelucrat (viteza de avans circular); f_l - avansul longitudinal; f_p - avansul de pătrundere; α_i - unghiul de înclinare.

La rectificarea cu avans longitudinal semifabricatul 1 se introduce axial între discul abraziv 2, de diametru mai mare, ce efectuează mişcarea principală de aşchiere cu viteza v_c = (30...40) m/s, şi discul conducător 3, ce poate fi din material abraziv sau fontă şi se roteşte cu viteza v_p = (10...50) m/min. Deoarece discul conducător este înclinat cu unghiul α_i = 1...5°, va imprima semifabricatului mişcarea de avans longitudinal cu viteza $\overline{v}_{fl}$, semifabricatul sprijinându-se pe rigla de ghidare 4.

La rectificarea cu avans transversal (fig. 8.216. b) discul conducător 3 execută şi mişcarea de apropiere sau îndepărtare f_t faţă de discul de lucru 2. Cele două discuri au axele paralele sau înclinate cu un unghi α = 0,5...1° pentru a asigura menţinerea piesei;

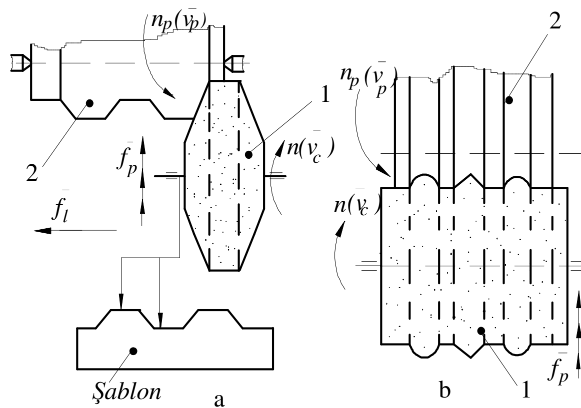


Fig. 8.215. Scheme de principiu la rectificarea suprafeţelor profilate: a - prin copiere; b - cu scule profilate: 1 - scula aşchietoare; 2 - piesa de prelucrat; $n(\overline{v}_c)$ - turaţia discului abraziv (viteza mişcării principale de aşchiere); $n_p(\overline{v}_{fc})$ - turaţia piesei de prelucrat (viteza de avans circular); f_l - avansul longitudinal; f_p - avansul de pătrundere.

- *rectificarea rotund interioară*, asemănătoare cu rectificarea rotund exterioară. Permite prelucrarea suprafeţelor de revoluţie interioare cu diametru de (6…50) mm şi lungimi de (50...500) mm. Mişcările necesare generării sunt: mişcarea principală de aşchiere $n(\overline{v}_c)$, executată de sculă, mişcarea de avans circular $n_p(\overline{v}_{fc})$, executată de piesă sau de sculă, avansul radial f_p, executat de sculă, şi avansul longitudinal f_l, executat de sculă sau piesă. Se disting două scheme de lucru: cu piesa în mişcare de rotaţie *(*fig. 8.217. a), pentru piese de dimensiuni mici (discuri, flanşe, bucşe, roţi dinţate), şi cu piesa fixă (fig. 8.217. b), pentru piese de dimensiuni mari şi forme complexe (blocuri de cilindrii, cămăşi de pistoane, carcase etc.).

Rectificarea rotund interioară fără centre se foloseşte la prelucrarea unor piese care au suprafeţele cilindrice interioare şi exterioare concentrice, în cazul producţiei de serie mare sau de masă. Piesa 1 (fig. 8.218) se sprijină pe o rolă de reazem 2, fiind apăsată de rola 3 şi discul conducător 4. Axele celor două role şi cea a discului abraziv 5 trebuie să fie paralele cu axa piesei de prelucrat.

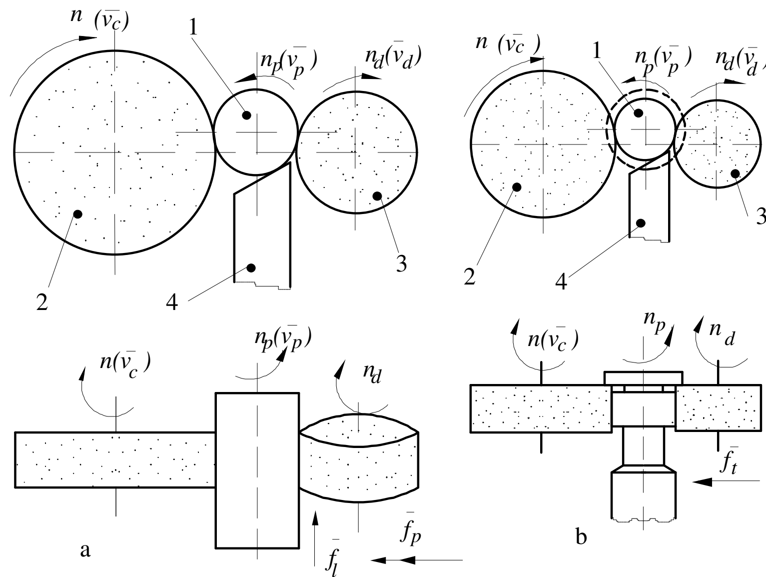


Fig. 8.216. Scheme de principiu la rectificarea rotund exterioară fără centre: a - cu avans longitudinal; b - cu avans transversal; 1 - piesa de prelucrat; 2 - scula aşchietoare; 3 - discul conducător; 4 - rigla de sprijin; ; $n(\overline{v}_c)$ - turaţia discului abraziv (viteza mişcării principale de aşchiere); $n_p(\overline{v}_{fc})$ - turaţia piesei - semifabricat (viteza de avans circular); $n_d(\overline{v}_d)$ - turaţia discului conducător (viteza discului conducător); f_l - avansul longitudinal; f_t - avansul transversal; f_p - avansul de poziţionare.

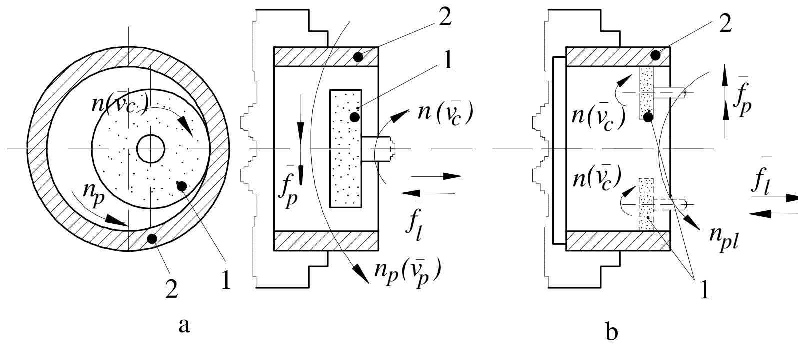


Fig. 8.217. Scheme de principiu la rectificarea rotund interioară: a - cu piesa în mişcare de rotaţie; b - cu piesa fixă şi discul abraziv în mişcare planetară; 1 - scula aşchietoare; 2 - piesa de prelucrat; $n(\overline{v}_c)$ - turaţia discului abraziv (viteza mişcării principale de aşchiere); $n_p(\overline{v}_{fc})$ - turaţia piesei - semifabricat (viteza de avans circular); f_l - avansul longitudinal; f_p - avansul de poziţionare; n_{pl} -mişcarea planetară.

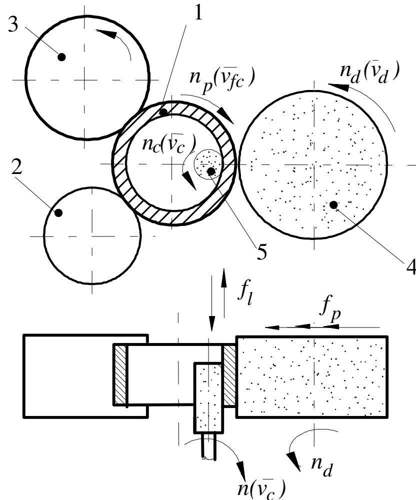


Fig. 8.218. Schema de principiu la rectificarea rotund interioară fără centre: 1 - piesa de prelucrat; 2 - rolă de sprijin; 3 - rolă de apăsare; 4 - discul conducător; 5 - scula aşchietoare; $n(\bar{v}_c)$ - turaţia discului abraziv (viteza mişcării principale de aşchiere); $n_p(\bar{v}_{fc})$ - turaţia piesei - semifabricat (viteza de avans circular); $n_d(\bar{v}_d)$ - turaţia discului conducător (viteza discului conducător); f_l - avansul longitudinal; f_p - avansul de poziţionare.

- *rectificarea plană*, la care mişcările necesare generării suprafeţelor sunt: mişcarea principală de aşchiere $n_c(\bar{v}_c)$, executată de sculă, mişcarea de avans longitudinal alternativ f_l, executată de piesă şi uneori de sculă, mişcarea de avans transversal f_t, executată de piesă, şi mişcarea de avans de pătrundere f_p, executată de sculă. După modul cum se aşchiază cu discul abraziv se deosebesc două metode de rectificare plană: *cu suprafaţa periferică a discului* (fig. 8.219. a) şi *cu suprafaţa frontală a discului* (fig. 8.219. b).

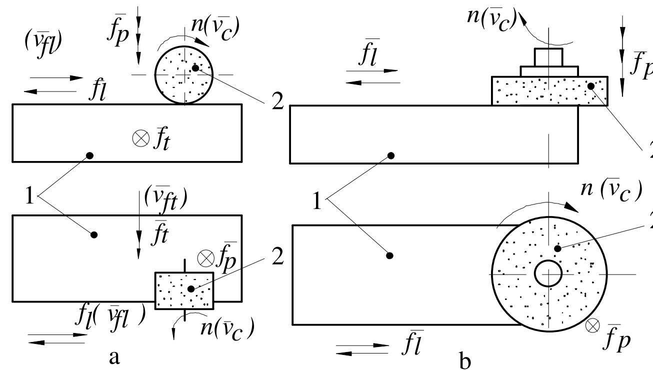


Fig. 8.219. Schema de principiu la rectificarea plană: a - cu suprafaţa periferică a discului; b - cu suprafaţa frontală a discului abraziv; $n(\bar{v}_c)$ - turaţia discului abraziv (viteza mişcării principale de aşchiere); f_l - avansul longitudinal; f_t - avansul transversal; f_p - avansul de poziţionare.

8.12.2. Geometria sculelor aşchietoare. Tipuri de scule

Sculele folosite la rectificare poartă denumirea de *scule abrazive* (pietre de rectificat) şi se deosebesc total de sculele folosite la procedeele de generare prin aşchiere anterioare. O piatră abrazivă, indiferent de forma ei, este formată din o mulțime de granule abrazive 1, (fig. 8.220) ce servesc la desprinderea aşchiilor, legate între ele cu un liant 2 şi porii 3, ce servesc la cuprinderea aşchiilor care se detaşează în procesul de generare.

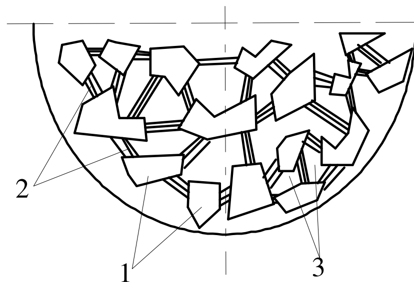


Fig. 8.220. Structura unei pietre abrazive: 1 - granule abrazive; 2 - liant; 3 - pori.

Pe lângă forma şi dimensiunile caracteristice, sculele abrazive au o serie de caracteristici definitorii: natura materialului abraziv, natura liantului, duritatea pietrei de rectificat, mărimea granulelor abrazive şi structura pietrei de rectificat.

Ca *materiale abrazive* se folosesc: corindonul, electrocorindonul, carbura de siliciu (carborund), carbura de bor, nitrura de bor (Borazon, Elbor, Cubonit), azotura de titan şi diamantul.

Ca *lianți* se folosesc: lianții magnezieni (simbol M), ceramici (C), răşini sintetice (B) şi lianți pe bază de cauciuc (V).

Granulația reprezintă o măsură pentru mărimea granulelor abrazive, deosebindu-se: micropulberi (3...40μm), pulberi (40...160μm) şi granule normale (160...2500μm).

Duritatea sculei abrazive este dată de rezistența opusă la smulgerea granulelor din rețeaua de liant. Din acest punct de vedere se deosebesc: scule extrem de moi (simbolizare A...D); scule foarte moi (E...G); scule moi (H...K); scule de duritate mijlocie (L...O); scule dure (P...S); scule foarte dure (T...W); scule extrem de dure (X...Z).

Structura sculei abrazive este definită prin raportul dintre cantitatea de granule abrazive, lianți şi pori, în unitatea de volum. În România sunt standardizate 13 clase de structură (0...12), începând de la foarte deasă, până la poroasă.

Datorită unei mari varietăți de suprafețe ce pot fi prelucrate prin rectificare, forma şi mărimea pietrelor abrazive este foarte diversă, deosebindu-se (fig. 8.221): pietre abrazive cilindrice plane (fig. 8.221. a); pietre abrazive conice plane (fig. 8.221. b); pietre abrazive taler (fig. 8.221. c); pietre abrazive oală (fig. 8.221. d); pietre abrazive bitronconice (fig. 8.221. e); pietre abrazive segmenți (fig. 8.221. f);

pietre abrazive pilă (fig. 8.221, g); pietre abrazive cu tijă (fig. 8.221. h).

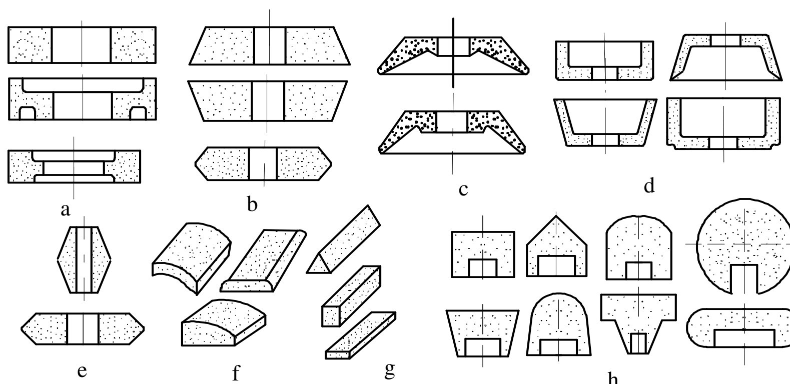


Fig. 8.221. Diferite tipuri de scule abrazive:
a - cilindrice plane; b - conice plane; c - taler; d - oală; e - bitronconice;
f - segmenți; g - pilă; h - cu tijă.

8.12.4. Maşini – unelte şi dispozitive specifice folosite la prelucrarea prin rectificare

Rectificarea trebuie să realizeze precizii dimensionale foarte bune, rugozitatea suprafeței foarte mică, de aceea, maşinile de rectificat trebuie să îndeplinească o serie de cerințe (mers liniştit, compact, realizarea mişcărilor în mod continuu, protejarea suprafețelor de ghidare de micropulberile desprinse, cinematică uneori foarte complicată, echilibrarea perfectă a părților în mişcare etc.).

Maşinile de rectificat sunt foarte diverse, ele clasificându-se după mai multe criterii. După construția lor şi domeniul de utilizare se deosebesc:

- maşini de rectificat *rotund exterior între vârfuri* şi *fără centre;*
- maşini de rectificat *rotund interior cu cap de prindere, fără prinderea piesei*, şi *planetare;*
- maşini de rectificat *plan-periferic* (orizontale) şi *frontal* (verticale), *cu masă dreptunghiulară* sau *circulară;*
- masini de rectificat *rotund universale;*
- maşini de rectificat *speciale pentru filete, roți dințate, arbori cu came, arbori cotiți, ghidaje, bile de rulmenți, ascuțit scule etc.*

Schema de principiu a unei maşini de rectificat rotund exterior între vârfuri, acționată mecanic este prezentată în figura 8.222.

Lanțurile cinematice care concură la generarea suprafeței prin rectificare sunt:

- MEA_1 - 1 - 2 - SA - n_c ($\overline{v}_c$) - pentru mişcarea principală de aşchiere;

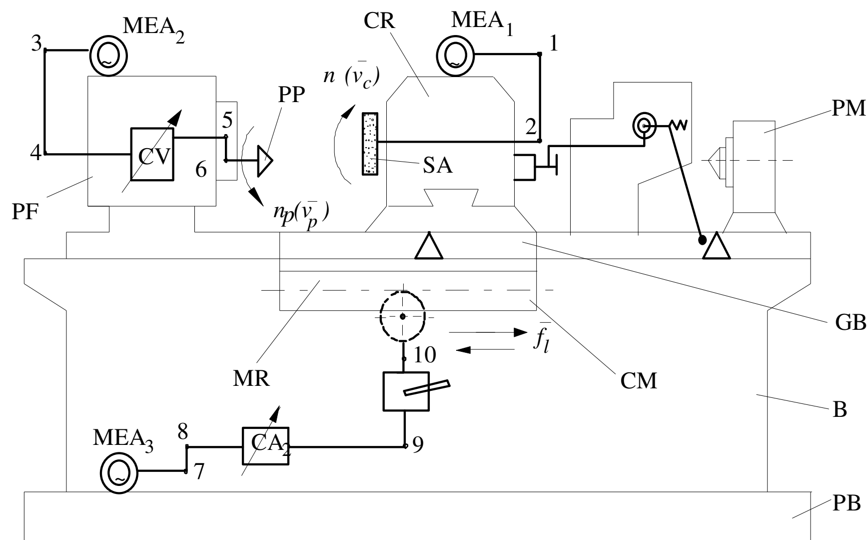


Fig.8.222. Schema de principiu a unei maşini de rectificat rotund exterior între vârfuri, acţionată mecanic:
PB - placa de bază; B - batiu; GB - ghidajele batiului; CR - cap de rectificat; PM – păpuşa mobilă; PF - păpuşa fixă; MR - masa maşinii de rectificat; CM - cremalieră; 1, 2, 3,…,10 - mecanisme de transmitere a mişcării; O – opritori; PP – piesa de prelucrat; SA – sculă abrazivă.

- MEA_2 - 3 - 4 - CV - 5 - 6 - PP - $n_p(v_p)$ - pentru mişcarea de avans circular;
- MEA_3 - 7 - 8 - 9 - 10 - M - f_l – pentru mişcarea de avans longitudinal.

Schema cinematică de principiu a unei maşini de rectificat rotund interior cu cap de prindere este prezentată în figura 8.223. Lanţurile cinematice necesare generării suprafeţelor prin rectificare în acest caz, sunt:

- MEA_1 - 1 - 2 - SA - n_c ($\overline{v}_c$) - pentru mişcarea principală de aşchiere;
- MEA_2 - 3 - 4 - CV - 5 - 6 - P - n_p ($\overline{v}_{fc}$) - pentru mişcarea de rotaţie a piesei;
- MEA_3 - PDC - 7 - D - 8 - CH - MR – f_l - pentru realizarea avansului longitudinal.

Schema cinematică de principiu a unei maşini de rectificat plan periferică, orizontală este prezentată în figura 8.224. Lanţurile cinematice necesare generării suprafeţelor prin rectificare, în acest caz, sunt:

- MEA_1 - 1 - 2 - SA - n_c ($\overline{v}_c$) - pentru mişcarea principală de aşchiere;
- MEA_2 - PDC – S_3 – S_1 - CH_1 - MR – f_l ($\overline{v}_{fl}$) - pentru mişcarea de avans longitudinal;
- MEA_2 - P_{DC} – S_3 – S_2 - 3 - 4 - CH_2 – S_c/P_c - MR – f_t($\overline{v}_{ft}$) – pentru mişcarea de avans transversal.

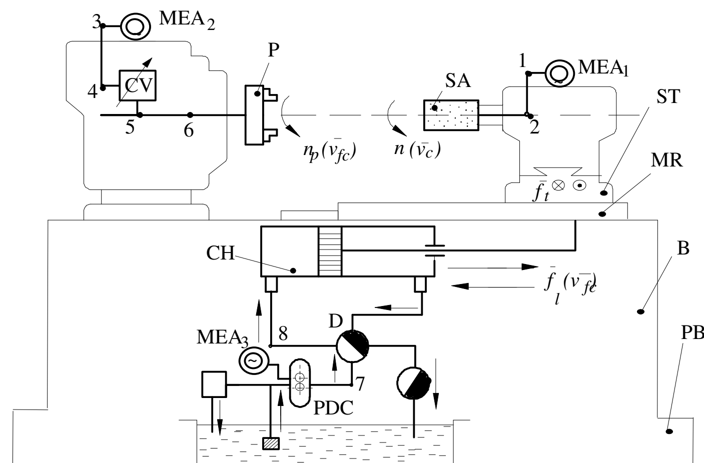


Fig. 8.223. Schema de principiu a unei maşini de rectificat rotund interior cu cap de prindere: PB - placa de bază; B - batiu; MR - masa maşinii de rectificat; SA - scula aşchietoare; P - cap de prindere; ST - sanie transversală; CH - cilindru hidraulic; D - drosel; PDC - pompă cu debit constant; $n(\bar{v}_c)$ - turaţia discului abraziv (viteza mişcării principale de aşchiere); $n_p(\bar{v}_{fc})$ - turaţia piesei - semifabricat (viteza de avans circular); f_l - avansul longitudinal; f_t - avansul transversal;1; 2; 3;...,8 – mecanisme de transmitere a mişcării.

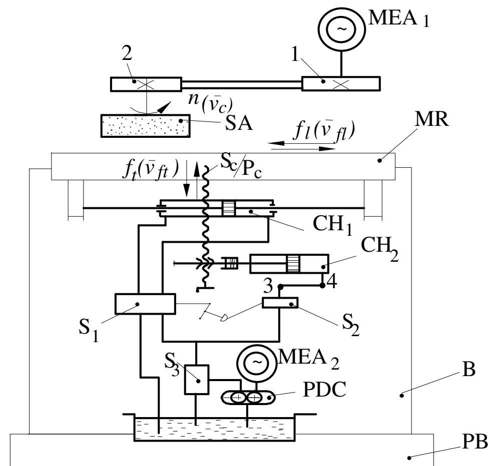


Fig. 8.224. Schema cinematică de principiu a unei maşini de rectificat plan periferică, cu ax orizontal: PB - placa de bază; B - batiu; MR - masa maşinii de rectificat; SA - scula aşchietoare; PDC - pompă cu debit constant; CH_1; CH_2 - cilindrii hidraulici; S_1; S_2; S_3 - supape hidraulice de siguranţă; 1; 2; 3; 4 - mecanisme de transmitere a mişcării; S_c/P_c – mecanism şurub – piuliţă; $n(\bar{v}_c)$ - turaţia discului abraziv (viteza mişcării principale de aşchiere); m – manetă de acţionare; f_l - avansul longitudinal; f_t - avansul transversal.

Pentru piese de dimensiuni mici şi mijlocii, în producţia de serie mare sau de masă, se folosesc maşini cu mai mulţi arbori, fiecare arbore executând faze diferite (de exemplu: unul execută degroşarea, următorul semifinisarea, altul finisarea şi ultimul execută netezirea suprafeţei).

8.12.5. Stabilirea condițiilor de lucru la rectificare

La stabilirea condițiilor de lucru la rectificare trebuie avute în vedere următoarele aspecte: precizia dimensională şi rugozitatea suprafeței prelucrate, forma şi dimensiunile semifabricatului, caracteristicile mecanice şi starea suprafeței de prelucrat, natura materialului, natura prelucrării, condițiile în care se desfăşoară procesul de aşchiere şi productivitatea prelucrării, precum şi particularitățile specifice procesului de prelucrare prin rectificare.

Principalele etape ce trebuie parcurse în vederea stabilirii condițiilor de lucru la rectificare se prezintă în continuare.

8.12.5.1. Alegerea sculei aşchietoare

Se face în funcție de materialul de prelucrat, metoda de rectificare şi regimul de aşchiere dorit. De regulă, pentru rectificarea materialelor moi se aleg pietre abrazive cu duritate mare, iar pentru materialele dure se aleg pietre abrazive moi. Pentru materialele foarte moi şi tenace (neferoasele) se aleg pietre abrazive foarte moi şi poroase, deoarece cele dure se îmbâcsesc foarte repede.

De asemenea, trebuie ținut cont că la rectificarea de degroşare trebuie să se lucreze cu pietre dure (liant ceramic) cu granulație mare, iar la rectificarea de finisare să se lucreze cu pietre moi (liant organic) cu granulație mică. Pentru cazurile când nu se pot utiliza lichide de răcire, se utilizează discuri abrazive superporoase.

8.12.5.2. Stabilirea durabilității economice şi a uzurii maxim admisibile a sculei aşchietoare

Alegerea discului abraziv depinde de parametrii acestuia, iar condițiile de aşchiere trebuie să fie astfel intercondiționate încât să lucreze în domeniul *autoascuțirii* (granulele abrazive uzate să fie rupte sau desprinse din liant de forțele de aşchiere în timpul aşchierii). Cu cât este mai mare şi mai uniformă capacitatea de autoascuțire a discului abraziv, cu atât durabilitatea este mai mare, productivitatea mai ridicată şi consumul de corp abraziv mai mic.

În funcție de natura materialului de prelucrat, starea suprafeței de prelucrat şi condițiile de aşchiere, durabilitatea variază între 400 şi 750 de minute (se alege din tabele şi nomograme).

Uzura apare atunci când granulele abrazive îşi pierd proprietățile aşchietoare ca urmare a tocirii lor şi a îmbâcsirii porilor cu aşchii, pulbere metalică, murdărie etc., iar pe suprafața piesei apar zgârieturi şi arsuri. Pentru a-şi recăpăta proprietățile aşchietoare, pietrele abrazive îmbâcsite se ascut, ascuțire ce constă în îndepărtarea unui strat de granule şi liant de pe suprafața pietrei. Această ascuțire se face cu ajutorul unui vârf de diamant, cu discuri din carborund, cu freze speciale, cu role speciale din oțel călit, cu ajutorul unor creioane din carburi metalice etc.

8.12.5.3. Stabilirea adâncimii de aşchiere şi a numărului de treceri

Adâncimea de aşchiere a_p este stratul îndepărtat la o trecere şi depinde de: natura materialului de prelucrat, dimensiunile şi caracteristicile pietrei abrazive, felul operaţiei, rigiditatea sistemului maşină - sculă - piesă, puterea maşinii şi mai ales de grosimea aşchiei h_D, scoasă de fiecare granulă (fig. 8.225). Dacă piesa ar fi imobilă, o granulă abrazivă ar parcurge arcul *abc*, cum însă piesa se roteşte (fig. 8.225. a) sau se deplasează (fig. 8.225. b), vârful granulei scoate aşchia *abcd*, cu grosimea $h_D = bd$, iar scula 2 desprinde un strat de grosime a_p.

Din relaţii geometrice se deduce:

$$h_D = \frac{v_p}{30 \cdot v_c \cdot m}\sqrt{\frac{a_p}{D} \pm a_p \frac{l}{d}} \quad [\text{mm}] \;, \tag{8.215}$$

pentru rectificarea cilindrică (semnul ,,+", la rectificarea exterioară şi semnul „-'', la rectificarea interioară);

$$h_D = \frac{v_p}{30 \cdot v_c \cdot m}\sqrt{\frac{a_p}{D}} \quad [\text{mm}] \;, \tag{8.216}$$

pentru rectificarea plană, în care *m* este numărul de granule abrazive.

Fig. 8.225. Adâncimea de aşchiere la rectificarea:
a - rotundă; b - plană: 1 - piesa de prelucrat; 2 - scula aşchietoare; $n(\bar{v}_c)$ - turaţia discului abraziv (viteza mişcării principale de aşchiere); $n_p(\bar{v}_{fc})$ - turaţia piesei - semifabricat (viteza de avans circular); f_l - avansul longitudinal; h_D - grosimea aşchiei; a_p - adâncimea de aşchiere.

Adâncimea de aşchiere este de 0,01…0,10 mm/cursă, la degroşare şi de 0,005…0,15 mm/cursă la finisare.

Numărul de treceri, *i* , se calculează cu relaţia:

$$i = \frac{A_p}{a_p} \quad [\text{mm}] \ , \qquad (8.217)$$

în care A_p este adaosul de prelucrare, în mm; a_p - adâncimea de aşchiere, în mm.

Adaosul de prelucrare se alege în funcţie de natura materialului de prelucrat şi rigiditatea sistemului maşină-unealtă-sculă-dispozitiv, având valori cuprinse între 0,08 mm şi 1,0 mm.

8.12.5.4. Stabilirea vitezei de avans

Mişcările de avans longitudinal f_l transversal f_t , şi de pătrundere f_p se execută de piesă şi uneori de sculă.

Avansul longitudinal f_l se exprimă cu relaţia:

$$f_l = \beta B \quad [\text{mm/rot}] \ , \qquad (8.218)$$

în care β = 0,3…0,6, în funcţie de materialul piesei şi adâncimea de rectificat; B - lăţimea discului de rectificat, în mm.

Avansul transversal f_t apare la rectificarea plană, este perpendicular pe f_l şi se exprimă în mm/cursă.

Avansul de pătrundere f_p este de fapt egal cu adâncimea de aşchiere şi defineşte grosimea stratului de material ridicat la o trecere a sculei, exprimat în mm.

Viteza de avans a semifabricatului $\overline{v}_p$ depinde de caracteristicile prelucrării şi se calculează cu relaţiile:

$$v_p = \frac{C_v D^{q_v}}{T^m a_p^{x_v} f^{y_v}} \quad [\text{m/min}] \ , \qquad (8.219)$$

pentru rectificarea periferică, şi:

$$v_p = \frac{C_v}{T^m a_p^{x_v} B^{z_v}} \quad [\text{m/min}] \ , \qquad (8.220)$$

pentru rectificarea frontală, în care T este durabilitatea, în minute; a_p -adâncimea de aşchiere, în mm; f - avansul, în mm/cursă; D - diametrul discului abraziv, în mm; B - lăţimea pietrei de rectificat, în mm; C_v; x_v; y_v; z_v - coeficienţi de corecţie determinaţi experimental.

Viteza de avans are valori cuprinse între 30 şi 50 m/min.

8.12.5.5. Stabilirea forţelor de aşchiere

Forţa R, care actionează asupra granulei abrazive în procesul de rectificare, se descompune în trei componente F_c, F_f şi F_p (fig. 8.226), asemănător

ca la strunjire. Componenta F_c este forţa principală de aşchiere ce dă naştere cuplului rezistent şi se calculează cu relaţia :

$$F_c = C_F v_p^{0,7} f_l^{0,7} a_p^{0,6} \quad [\text{daN}] \ , \tag{8.221}$$

în care C_F este un coeficient de corecţie, în funcţie de natura materialului de prelucrat; v_p - viteza tangenţială a piesei, în m/min; f_l - avansul longitudinal, în mm/rot; a_p - adâncimea de aşchiere, în mm.

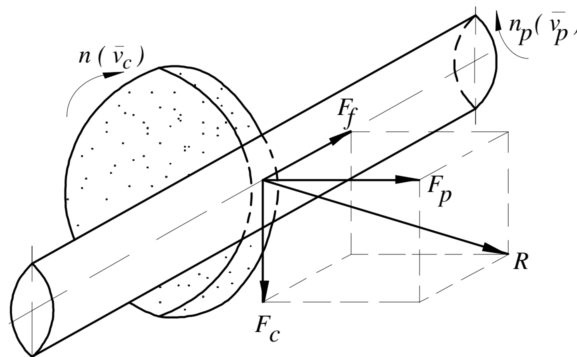


Fig. 8.226. Forţele de aşchiere la rectificarea rotund exterioară: F_c - componenta principală de aşchiere; F_p - componenta radială; F_f - componenta axială în sensul avansului.; $n(\bar{v}_c)$ - turaţia discului abraziv (viteza mişcării principale de aşchiere); $n_p(\bar{v}_{fc})$ - turaţia piesei - semifabricat (viteza de avans circular).

Componenta F_f este forţa axială şi este preluată de mecanismul de avans, în timp ce componenta radială F_p tinde să încovoaie piesa. Spre deosebire de strunjire, la rectificare F_p=(1,3…3,0)F_c, deoarece granula abrazivă aşchiază cu unghiuri γ negative.

8.12.5.6. Stabilirea momentelor de aşchiere

Momentul de răsucire al arborelui port-piatră de rectificat M_t se calculează cu relaţia:

$$M_t = F_c \frac{D}{2} \quad [\text{N·m}] \ , \tag{8.222}$$

în care D este diametrul pietrei de rectificat, în mm.

8.12.5.7. Stabilirea vitezei de aşchiere

Viteza de aşchiere v_c are o foarte mare importanţă, ea trebuie să aibă valori cât mai mari pentru a asigura o calitate foarte bună a suprafeţei prelucrate, uzură mică a sculei şi productivitate ridicată. Se calculează cu relaţia:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000 \cdot 60} \quad [\text{m/s}] \ , \tag{8.223}$$

în care D este diametrul discului abraziv, în mm; n - turaţia sculei, în rot/min.

Valorile vitezei de așchiere sunt cuprinse între 25 m/s și 125 m/s, alese conform STAS 6177-80, în funcție de felul operației și tipul pietrei abrazive.

Viteza tangențială a piesei $\overline{v}_p$, numită și avans circular, depinde de rugozitatea suprafeței prelucrate, de dimensiunile și materialul semifabricatului, precum și de adâncimea de aschiere. Se determină o viteză economică a piesei $v_{p\,ec}$:

$$v_{pec} = \frac{C_v d^{qv}}{T^m a_p^{x_v} f_l^{y_v}} \quad [\text{m/min}] \ , \tag{8.224}$$

în cazul prelucrării cu partea periferică a discului, și:

$$v_{pec} = \frac{C_v d^{qv}}{T^m a_p^{x_v} B^{z_v}} \quad [\text{m/min}] \ , \tag{8.225}$$

în cazul prelucrării cu partea frontală a discului, în care d este diametrul piesei de prelucrat, în mm; T - durabilitatea discului abraziv, în min; a_p - adâncimea de așchiere, în mm; f_l - avansul longitudinal, în mm/cursă dublă; B - lățimea pietrei, în mm; C_v , m , x_v , y_v , z_v - coeficienți și respectiv exponenți determinați pe cale experimentală.

8.12.5.8. Stabilirea vitezei și turației reale a piesei de prelucrat

Turația piesei $n_{p\,ec}$ necesară realizării vitezei economice se calculează cu relația:

$$n_{pec} = \frac{1000 \cdot v_{pec}}{\pi d} \quad [\text{rot/min}] \ . \tag{8.226}$$

Deoarece la axul principal al mașinii-unelte pe care se fixează piesa de prelucrat se realizează numai anumite valori pentru turație, se alege o turație de lucru n_{pr} , cea mai apropiată și imediat inferioară lui $n_{p\,ec}$. După stabilirea turației reale n_{pr} se calculează viteza reală de așchiere v_{pr} cu relația:

$$v_{pr} = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{pr}}{1000} \quad [\text{m/min}] \ . \tag{8.227}$$

Se calculează apoi variația vitezei $\Delta v = \frac{\pi \cdot D}{1000}\left(\frac{n_{ec} - n_r}{n_{ec}}\right) \cdot 100[\%]$ și se verifică dacă îndeplinește condiția: $\Delta v < 5\%$. Dacă $\Delta v > 5\%$, atunci se acționează asupra parametrilor ce influențează viteza de așchiere.

Viteza tangențială v_p a piesei este foarte mică în comparație cu viteza periferică a sculei v_c, în general respectându-se raportul $v_c / v_p \approx 100$.

8.12.5.9. Verificarea puterii de aşchiere

Puterea necesară acționării sculei abrazive $P_{aş,\,s}$ se determină cu relația:

$$P_{a^\circ,s} = \frac{F_c \cdot v_c \cdot 0{,}736}{75 \cdot \eta} \quad \text{[kW]} \tag{8.228}$$

şi analog, pentru acționarea piesei, cu relația:

$$P_{as,p} = \frac{F_c \cdot v_p \cdot 0{,}736}{75 \cdot \eta} \quad \text{[kW]}\ , \tag{8.229}$$

în care F_z este componenta tangențială a forței de aşchiere, în daN; v_c - viteza de aşchiere, în m/s; v_p - viteza piesei, în m/min; η - randamentul lanțului cinematic.

Puterea calculată se compară cu puterea de actionare a motoarelor electrice corespunzătoare lanțurilor cinematice aferente şi dacă se respectă condiția $P_{a^\circ,s} \le P_{MEA1}$ şi $P_{a^\circ,p} \le P_{MEA2}$, atunci regimul de aşchiere este adoptat, în caz contrar, se acționează asupra principalilor factori ce influențează aşchierea.

Observație. Determinarea coeficienților de corecție şi a parametrilor necesari stabilirii condițiilor de lucru la rectificare se face folosind Manualul Inginerului Mecanic, volumele I, II şi III, şi normativele corespunzătoare.

8.12.6. Tipuri de prelucrări executate pe maşinile de rectificat

Pe maşinile de rectificat se execută finisarea unei game foarte largi de suprafețe, de configurație geometrică de la cele mai simple, până la cele mai complexe. Cele mai des întâlnite tipuri de suprafețe care se prelucrează prin rectificare sunt: suprafețe cilindrice exterioare (fig. 8.213); suprafețe conice (fig.

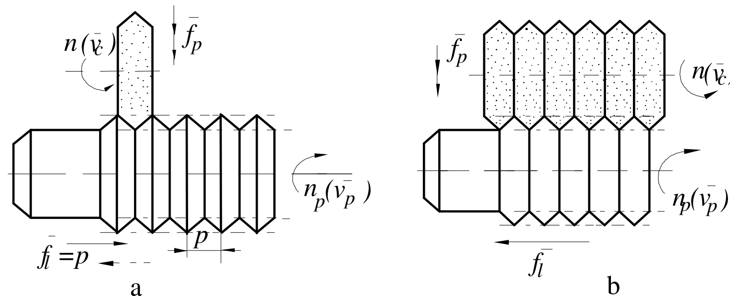


Fig. 8.227. Schema de lucru la rectificarea filetelor:
a - cu piatră abrazivă cu un singur profil; b - cu piatră abrazivă cu mai multe profiluri: $n(\overline{v}_c)$ - turația discului abraziv (viteza mişcării principale); $n_p(\overline{v}_{fc})$ - turația piesei- semifabricat (viteza de avans circular); f_t - avansul longitudinal; f_{pt} - avansul de poziționare; p – pasul filetului.

8.214); suprafeţe cilindrice interioare (fig. 8.217); suprafeţe profilate (fig. 8.215); suprafeţe plane (fig. 8.219); filete de lungimi mari (l > 70 mm) cu piatră abrazivă cu un singur profil (fig.8.227. a) şi de lungime mică (l < 70 mm) cu piatră abrazivă profilată (fig. 8.227. b); feţele de aşezare şi de degajare a sculelor aşchietoare (fig. 8.228);roţile dinţate, folosind pietre abrazive profilate (fig. 8.229) sau pietre plane prin metoda rulării; arbori cotiţi, supape, bile, rulmenţi etc.

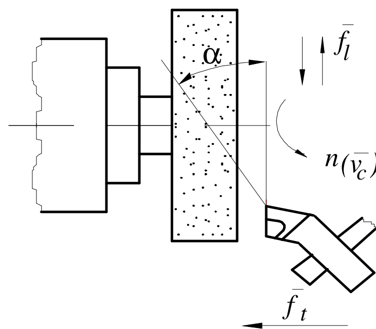


Fig. 8.228. Ascuţirea feţei de aşezare a cuţitului de strung:
$n(\bar{v}_c)$ - turaţia discului abraziv (viteza mişcării principale de aşchiere); f_l - avansul longitudinal; f_t - avansul transversal.

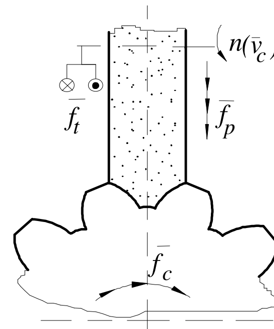


Fig.8.229. Rectificarea danturii roţilor dinţate cu pietre abrazive profilate:
$n(\bar{v}_c)$ - turaţia discului abraziv (viteza mişcării principale de aşchiere); f_t - circular;
f_p - avansul de pătrundere.

8.13. PROCEDEE DE SUPRAFINISARE

8.13.1. Generalităţi

Obţinerea unui înalt grad de precizie dimensională (±0,005...± 0,001 mm) şi realizarea unei foarte bune calităţi a suprafeţelor (R_a = 0,2...0,0125µm) implică generarea acestor suprafeţe prin procedee speciale de suprafinisare şi superfinisare. Cele mai des folosite procedee de suprafinisare sunt: *strunjirea fină, lepuirea, honuirea, rodarea, lustruirea, rularea în câmp ultrasonor, lustruirea electrochimică, superfinisarea ultrasonică* şi altele.

8.13.2. Strunjirea fină

Cinematica generării suprafeţelor este identică strunjirii obişnuite, deosebirea constând în tipurile de scule folosite şi valorile parametrilor regimului de aşchiere. Procedeul foloseşte scule cu vârf de diamant sau plăcuţe din carburi de

diamant, prelucrarea se execută cu viteze de aşchiere foarte mari (v_c = 250...300 m/min), avansuri foarte mici (f = 0,01...0,15 mm/rot) şi adâncimi de aşchiere foarte mici (a_p = 0,05...0,03 mm). Strunjirea fină cu cuţite cu vârf de diamant se foloseşte mai ales în producţia de serie mare sau de masă, la alezajele de precizie (bucşe, cuzineţi, cămăşi de cilindrii etc) confecţionate din bronz, alamă, aluminiu, aliaje antifricţiune, oţeluri şi fonte. Sistemul tehnologic maşină-dispozitiv-piesă-sculă trebuie să aibă o rigiditate foarte mare, mers liniştit şi să realizeze turaţii foarte mari.

8.13.3. Lepuirea

Lepuirea este procedeul de îndepărtare pe cale mecanică sau mecano-chimică a unor particule de metal de pe o suprafaţă, cu ajutorul unor pulberi abrazive fixate pe scule de lepuit. Prin mişcările relative dintre suprafaţa de prelucrat şi scula de lepuit, în prezenţa particulelor abrazive, se îndepărtează materialul sub forma unor microparticule. La lepuire, sculele se execută din materiale mai moi decât materialul de prelucrat ca de exemplu: plumb, cupru, alamă, oţel moale - pentru lepuirea manuală şi din fontă cenuşie cu duritatea 140...200 HB - pentru lepuirea mecanică.

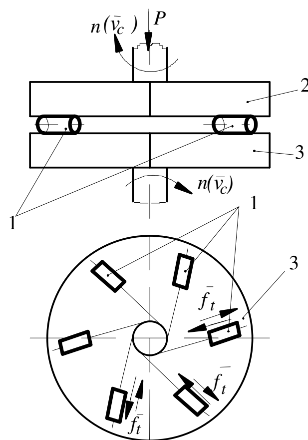


Fig.8.230.Schema de principiu la lepuire: 1 - piese de prelucrat; 2, 3 - discuri de lepuit.

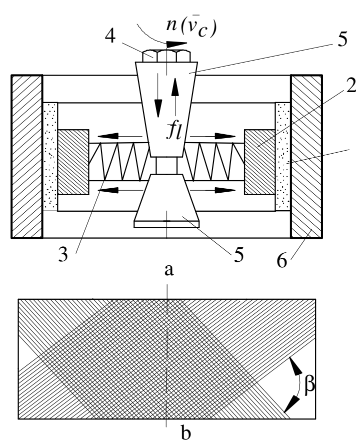


Fig. 8.231. Schema de principiu la honuire: a - cap de honuit: 1 - bare abrazive; 2 – suport metalic; 3 - elemente extensibile; 4 - şurub central de acţionare; 5 - conuri de reglare; 6 – piesa de prelucrat; b - traiectoriile granulelor abrazive pe suprafaţa honuită.

Pulberile abrazive folosite la lepuire sunt sub formă de paste sau praf din electrocorund, oxid de crom, carbură de siliciu, miniu de fier, carbură de bor, praf

de diamant şi altele. Mărimea grăunţilor este de 100...200 μm în prima fază şi de 1…20 μm la finisare.

Piesele de prelucrat 1 (fig. 8.230) se introduc de regulă între sculele de lepuit (discurile 2 şi 3), între care se introduc paste abrazive de lepuit (pentru lepuirea plană şi rotund exterioară). Cele două discuri execută mişcarea de rotaţie cu viteze de aşchiere cuprinse între 10...200 m/min, discul superior fiind apăsat pe suprafeţele de prelucrat cu o presiune de 0,5...3,5 daN/ cm^2.

Adaosul de prelucrare la lepuire este de 0,005...0,012 mm la degroşare şi sub 0,005 mm la finisare (pentru piesele rotunde), iar pentru suprafeţele plane de 0,004....0,008 mm. Prin lepuire se prelucrează suprafeţele de măsurare ale calibrelor, calelor plan-paralele, instrumentelor de măsurare şi control, bilelor de rulmenţi, canelurilor şi roţilor dinţate etc.

Maşinile de lepuit se clasifică după forma suprafeţelor de prelucrat în maşini de lepuit *plan,* maşini de lepuit *rotund,* maşini de lepuit *universale* şi maşini de lepuit *speciale.*

8.13.4. Honuirea

Honuirea este un procedeu de netezire a suprafeţelor cilindrice interioare sau exterioare, cu ajutorul unor scule speciale numite honuri.

Schema de principiu a generării suprafeţelor prin honuire se prezintă în figura 8.231. Scula de honuit (honul) este formată din barele abrazive 1 (cu o granulaţie foarte fină), fixate pe suporţii metalici 2 care sunt împinşi spre exterior de elementele extensibile 3. Reglarea honului la anumite diametre se face cu ajutorul unui şurub central 4, ce acţionează două conuri de reglare 5. Honul primeşte o mişcare de rotaţie $n_c(\overline{v}_c)$ de la axul principal al maşinii, concomitent cu o mişcare rectilinie alternativă f_l. Între barele abrazive şi suprafaţa de prelucrat a piesei 6 se introduce un lubrefiant corespunzător de ungere şi răcire.

Honuirea se deosebeşte de rectificare prin faptul că la honuire, presiunea de apăsare a sculei abrazive pe suprafaţa care se generează este de 6...10 ori mai mică, viteza de aşchiere este de 50...120 ori mai mică şi la prelucrare iau parte de 100 ....1 000 ori mai multe granule abrazive decât la rectificare.

Traiectoria unei granule abrazive pe suprafaţa prelucrată reprezintă o elice spre stânga, la mişcarea honului într-un sens, şi o elice spre dreapta, la deplasarea honului în sens invers, formându-se o reţea de traiectorii elicoidale (fig. 8.231. b) înclinate cu unghiul β dat de relaţia :

$$\mathrm{tg}\beta = \frac{v_{fl}}{v_c} \quad , \qquad (8.230)$$

în care v_{fl} este viteza miăşcării longitudinale; $\overline{v}_c$ - viteza mişcării principale de aşchiere executată de hon.

Pentru prelucrarea pieselor confecționate din oțel se folosesc bare din electrocorund , iar pentru prelucrarea pieselor din fonte, bare de carbură de siliciu, cu granulația 100....270 la degroşare şi 325....600 la finisare.

Adaosul de prelucrare se alege în funcție de materialul piesei, diametrul acesteia şi de caracterul prelucrării anterioare, având valorile 0,02...0,20 mm (la fontă) şi 0,01...0,06mm (la oțeluri).

Maşinile de honuit se clasifică după poziția axului principal în: maşini de honuit *verticale, orizontale* şi *înclinate,* iar după utilizare în maşini de honuit *de uz general* şi *maşini de honuit speciale*.

Prin honuire se obtine o precizie ridicată (± 0,003...± 0,015mm) şi o rugozitate a suprafeței foarte bună (R_a = 0,025...0,20 μm).

Honuirea se foloseşte la prelucrarea unor piese ca: alezajele bielelor, cilindrii motoarelor, cilindrii compresoarelor, inelele rulmenților, alezajele cuzineților etc.

8.13.5. Superfinisarea

Superfinisarea este procedeul de micronetezire efectuat cu ajutorul unor bare abrazive de granulație foarte fină, cu mişcări de lucru complexe, cu viteze de aşchiere şi presiuni reduse, în prezența unui lubrefiant abundent, de o anumită viscozitate.

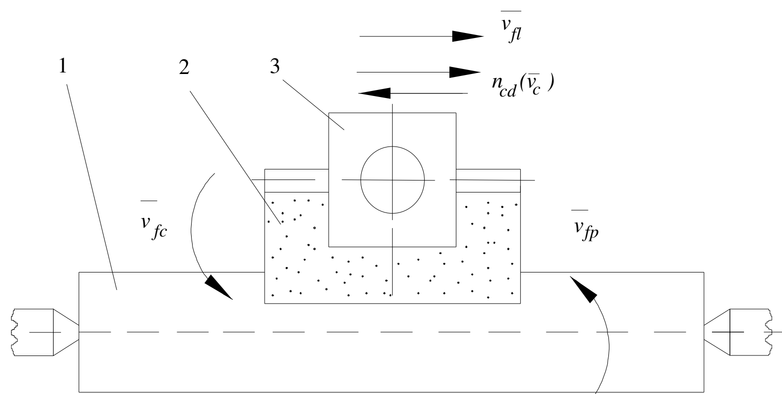


Fig. 8.232. Schema de principiu a superfinisării rotund exterioare:
1 - piesa de prelucrat; 2 - scula abrazivă; 3 - dispozitiv special de prindere a sculei abrazive;
$n_{cd}(\overline{v}_c)$ - numărul de curse duble executate de scula abrazivă (viteza mişcării principale de aşchiere);
$\overline{v}_{fl}$ - viteza de avans longitudinal; $\overline{v}_{fp};\overline{v}_{fc}$ - viteza de avans a piesei şi respectiv a sculei.

Schema de principiu la generarea prin superfinisare depinde de forma geometrică a suprafeței de prelucrat. Mişcările executate de piesă şi sculă depind

de forma şi dimensiunile suprafeței de prelucrat. De exemplu, pentru superfinisarea unei suprafețe rotund exterioare (fig. 8.232), scula 1 execută o mişcare rectilinie alternativă $n_{cd}(\overline{v}_c)$, cu o frecvență de 500...1 500 cd/min şi amplitudine de 1,5...6,5 mm, o mişcare de avans circular $\overline{v}_{fc}^{'}$ şi una de avans longitudinal $\overline{v}_{fl}$, în timp ce piesa execută o mişcare de rotație cu o viteză v_{fp} = 5...40 m/min.

Prin superfinisare se obțin rugozități mai mici de 0,05 μm, fără a se îmbunătăți precizia de formă sau de poziție.

8.13.6. Lustruirea

Lustruirea este operația de prelucrare prin aşchiere efectuată cu ajutorul unor granule abrazive în suspensie, în vederea obținerii unor suprafețe oglindă.

Lustruirea se face manual cu pânze abrazive cu granulații diferite, din ce în ce mai fine, sau mecanic, cu ajutorul unor discuri din lemn, pâslă, material plastic etc., pe suprafața cărora se depune o pastă abrazivă. Discul efectuează o mişcare de rotație cu o viteză periferică, v_c = 15...50 m/s, în timp ce piesa execută o mişcare de translație sau de rotație.

Procedeul se foloseşte în scopuri decorative sau ca operație pregătitoare în vederea unor operații de acoperiri galvanice (nichelare, cromare, argintare etc.).

8.13.7. Rodarea

Rodarea este operația de prelucrare prin aşchiere executată cu particule abrazive aflate în suspensie, introduse între două piese conjugate în mişcare relativă, pentru a îmbunătății contactul efectiv dintre acestea.

Operația se execută pe standuri speciale, a căror cinematică de lucru copiază fidel cinematica din timpul funcționării pieselor respective şi durează până în momentul terminării uzurii de rodaj.

Procedeul se aplică mai ales la îmbunătățirea funcționării pieselor conjugate, puternic solicitate în timpul funcționării (supapa şi scaunul ei, angrenaje cu roți dințate, pistonaşele în cilindrii pompelor de injecție, pistoanele şi cămăşile cilindrilor şi altele).

8.13.8. Superfinisarea în câmp ultrasonor

Este un procedeu special de îmbunătățire a calității suprafețelor interioare şi exterioare, folosind energia ultrasonoră. Schema de principiu a procedeului se prezintă în figura 8.233. Piesa de prelucrat 1 efectuează mişcarea de avans longitudinal $\overline{v}_{fl}$ şi mişcarea de rotație $\overline{v}_{fc}$, în timp ce un concentrator de energie ultrasonoră 2, tip bilă, apăsat pe suprafața de prelucrat cu o forță P, execută o mişcare vibratorie cu frecvența 18...42 kHz şi amplitudinea A = 12...50 μm.

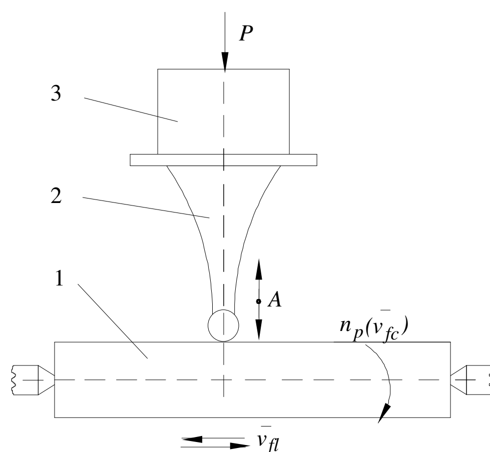


Fig. 8.233. Schema de principiu a superfinisării în câmp ultrasonic: 1 - piesa de prelucrat; 2 - concentrator de energie ultrasonoră; 3 - cap ultrasonic; $n_p(\bar{v}_{fc})$ - turația piesei (viteza mişcării de avans circular); $\bar{v}_{fl}$ - viteza de avans longitudinal; *A* – amplitudinea oscilatiilor ultrasonore.

Prin acest procedeu se obțin suprafețe cu o precizie dimensională foarte bună (± 0,001...0,003 mm), o calitate a suprafeței foarte bună ($R_a \le 0{,}125$ µm), o durificare a suprafeței prelucrate (duritatea poate creşte cu 60...80%) şi o detensionare a suprafetei.

8.14. PRELUCRAREA PE MAŞINI-UNELTE CU COMANDĂ NUMERICĂ SAU ADAPTIVĂ ŞI PE MAŞINI-UNELTE AGREGAT

8.14.1. Prelucrarea pe maşini-unelte cu comandă numerică

Creşterea productivității proceselor de prelucrare prin aşchiere se poate realiza şi prin reducerea substanțială a timpului auxiliar care, în cazul prelucrării unor piese complicate, ajunge până la 80% din timpul total de prelucrare. Efectuând automat şi rapid toate componentele timpului auxiliar (prinderea-desprinderea piesei şi sculei, oprirea – pornirea maşinii-unelte, măsurări de cote, comenzi de deplasare, comenzi de deplasare şi poziționare, curățirea de aşchii etc.) productivitatea poate creşte de 3...6 ori.

Acest lucru se realizează folosind maşini-unelte cu comandă program, la care comanda desfăşurării proceselor de prelucrare se face automat şi rapid.

În general, comenzile necesare pentru executarea unei operații de prelucrare se referă la *cinematica procesului de prelucrare* şi se împart în trei grupe:

- *comenzi de selectare a fazelor operației*, prin care se selectează organele maşinii ce efectuează mişcarea, direcția mişcării şi sensul acesteia;

- *comenzi de selectare a regimului de lucru,* prin care se stabilesc parametrii regimului de prelucrare;

- *comenzi dimensionale,* prin care se stabilesc cursele de lucru (amplitudinile mişcărilor de prelucrare).

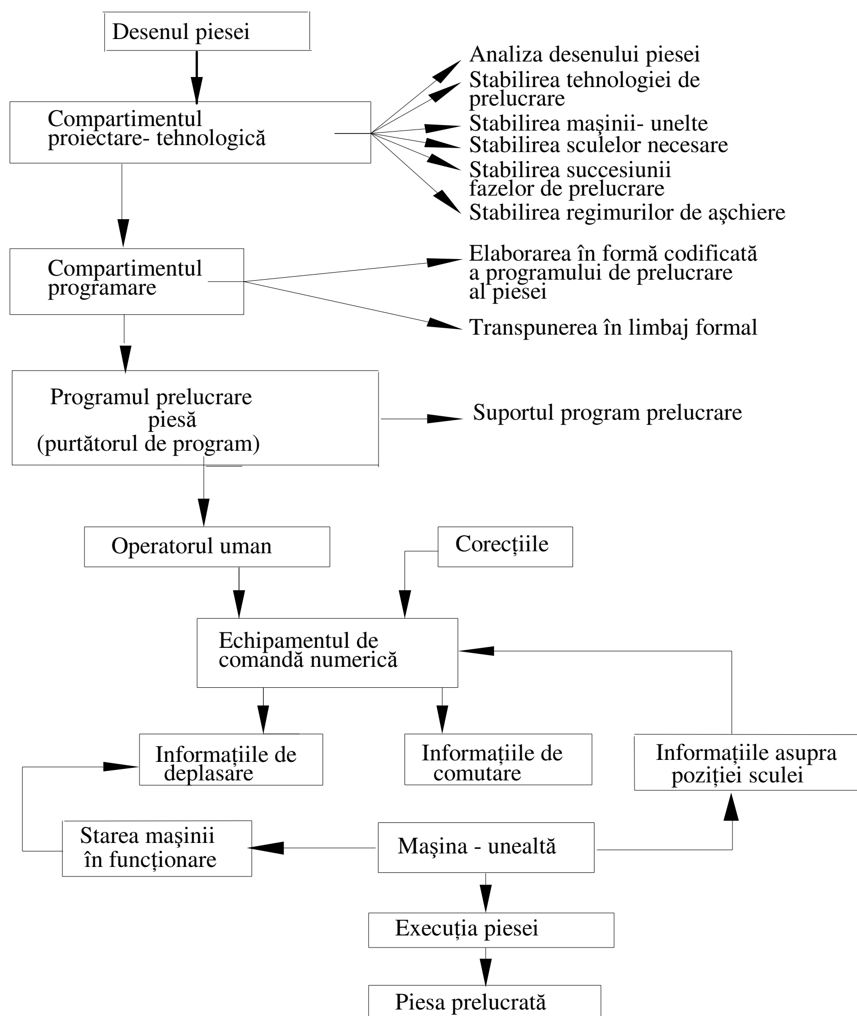


Fig. 8.234. Compartimentele şi informațiile necesare proiectării unui proces tehnologic de prelucrare pe MUCN.

Elaborarea tehnologiilor de prelucrare a pieselor pe maşini-unelte cu comandă numerică (MUNC) comportă o serie de particularități legate, în primul rând, de modul de transmitere a informațiilor cu privire la generarea suprafețelor de către maşina-unealtă comandată numeric. Pentru ca informațiile să fie

recepționate şi înțelese de echipamentul de comandă numerică (ECN), acestea sunt supuse unui proces complex de prelucrare pentru a putea fi aduse într-o formă codificată adecvată. Principalele compartimente şi informații necesare desfăşurării procesului tehnologic de prelucrare sunt prezentate în figura 8.234. Toate informațiile primite de ECN prin suportul program de la maşina-unealtă şi de la operatorul uman sunt prelucrate şi transmise sub formă de comenzi organelor de execuție ale maşinii-unelte.

Pentru a putea programa diferite deplasări ale organelor de execuție ale maşinii-unelte este necesar ca aceste deplasări să fie raportate la un sistem de coordonate. Conform STAS 8902-1971 se adoptă un sistem triortogonal de sens direct, în care axele de coordonate au o dublă semnificație (geometrică şi fizică) şi respectă următoarele reguli principale:

- axa *Z* este identică sau paralelă cu axa arborelui principal, având sensul pozitiv spre creşterea distanței dintre sculă şi piesă. Pentru maşinile fără ax principal, (maşini de rabotat) axa *Z* se consideră perpendiculară pe suprafața de asezare a piesei;

- axele *X* şi *Y* determină un plan normal pe axa *Z*, având ca purtători fizici de deplasare, ghidajele rectilinii ale meselor şi săniilor (cu diferite precizări în funcție de tipul maşinii-unelte);

- axele *X, Y, Z* sunt atribuite maşinii-unelte şi față de ele se precizează deplasările sculei. Pentru a preciza deplasările piesei, se consideră un sistem de coordonate ale acesteia, notate X', Y', Z', care au sensul pozitiv opus celor ale maşinii-unelte;

- mişcările de rotație în jurul axelor menționate se notează cu *A, B, C* şi respectiv cu A', B', C' (de exemplu , în cazul strungului există o singură mişcare de rotație, executată de piesă, notată C', celelalte mişcări fiind executate de sculă pe cele două direcții perpendiculare *Z* şi *X*);

- originea sistemului de referință al MUCN se numeşte originea maşinii, punct de referință sau punct de nul. Punctul de referință poate fi fix sau deplasabil.

Maşinile-unelte dotate cu ECN au la bază aceleaşi procedee de prelucrare ca şi cele clasice (strunjire, burghiere, frezare etc.), dar modul de desfăşurare a procesului de prelucrare prezintă câteva particularități care influnțează modul de proiectare a tehnologiei de prelucrare, construcția echipamentului tehnologic şi calculul parametrilor procesului tehnologic. După modul de realizare a tehnologiei de programare a MUCN se deosebesc două moduri de programare*: manuală* şi *asistată de calculator.*

8.14.1.1. Programarea manuală a MUCN

În cazul programării manuale fluxul informațional este cel prezentat în figura 8.235.

Tehnologul elaborează planul de operații, şi pentru operația ce se va executa pe o MUCN elaborează în plus următoarele documente:

- desenul de prindere al semifabricatelor pe MUCN;
- fişa de reglare a sculelor la cotele necesare;
- tabelul program-piesă, folosind limbajul acceptat de ECN cu care este dotată maşina -unealtă.

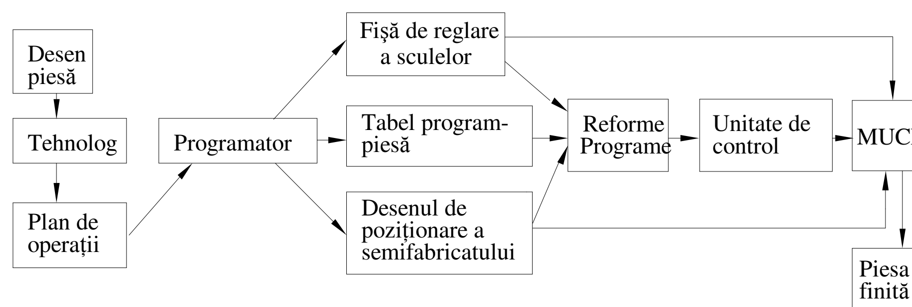


Fig. 8.235. Fluxul informațional la programarea manuală a MUCN.

8.14.1.2. Programarea asistată de calculator a MUCN

Programarea manuală a MUCN necesită cheltuieli mari de muncă şi timp, acestea crescând foarte rapid cu complexitatea piesei. De aceea, pentru simplificarea proiectării tehnologiilor de prelucrare pe MUCN se foloseşte sistemul de *programare asistată de calculator*. În acest caz, proiectarea unei tehnologii de prelucrare presupune întocmirea documentației tehnologice convenționale (plan de operații, fişe tehnologice etc.) şi, pentru fiecare operație ce se execută pe MUCN, elaborarea fişei program-piesă, introducerea în calculator a datelor pe care acesta le conține şi obținerea benzii perforate. Fluxul informațional la programarea asistată de calculator a MUCN se prezintă în figura 8.236.

Spre deosebire de tabelul program-piesă, *structura fişei program-piesă* are instrucțiuni grupate după caracterul comenzilor, astfel: *instrucțiuni speciale* (identificatorii piesei, remarcă dacă este cazul, identificatorii maşinii-unelte, identificarea sculelor, toleranțe de interpolare, calcule matematice), *instrucțiuni geometrice* (setul de puncte, geometrie), *instrucțiuni tehnologice* (turație şi sens ax principal, avans sau viteză de avans, modul de răcire a sculei, comenzi de acționare a maşinii-unelte), *instrucțiuni auxiliare* (oprirea lichidului de răcire, pornirea mişcărilor, sfârşitul programului).

Opțiunea pentru o MUCN se face în urma unui calcul de eficiență economică. În stabilirea eficienței economice trebuie avute în vedere avantajele MUCN față de maşinile-unelte clasice:

- creşterea productivității datorită reducerii timpilor auxiliari şi ai celor legați de pregătirea-încheierea fabricației;
- posibilitatea reluării fabricației unui reper prin refolosirea programului, păstrat în biblioteca de programe;

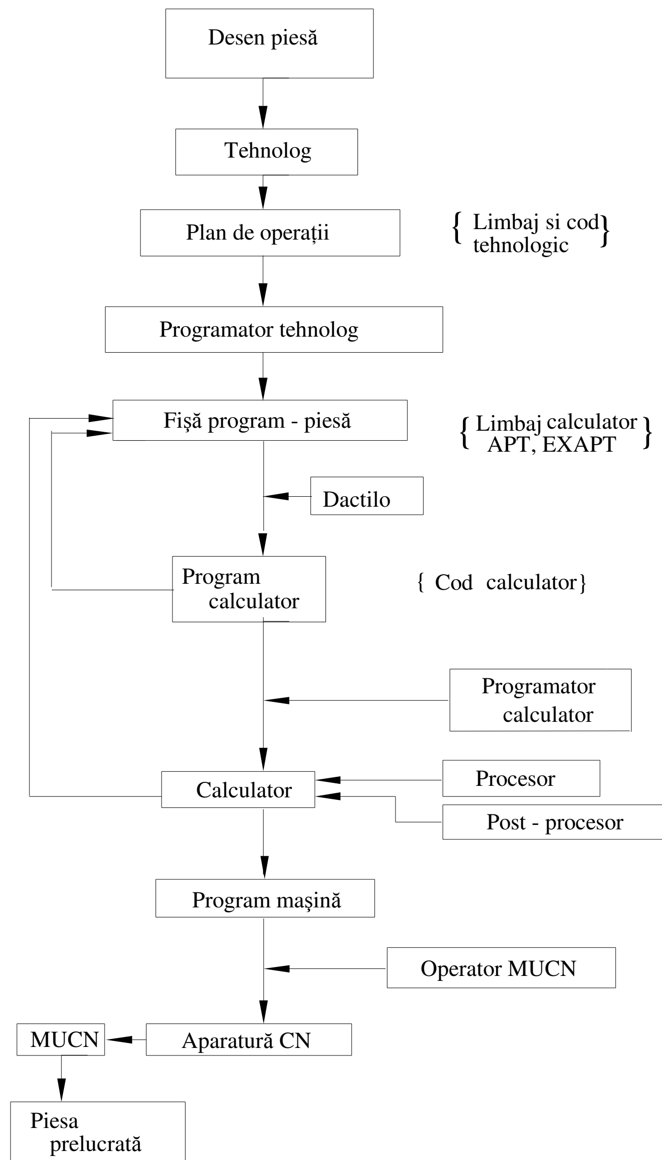


Fig. 8.236. Fluxul informațional la programarea asistată de calculator a maşinilor dotate cu ECN.

- posibilitatea de a utiliza mai multe maşini de acelaşi fel, prin simpla multiplicare a programului;
- reducerea cheltuielilor afectate dispozitivelor şi verificatoarelor;
- optimizarea procesului de aşchiere prin folosirea comenzii numerice adaptive etc.

8.14.2. Prelucrarea pe maşini-unelte cu comandă adaptivă

În cazul prelucrării pe maşinile-unelte clasice şi pe MUCN, parametrii ce definesc intensitatea proceselor de prelucrare sunt de natură cinematică (avansul, viteza de aşchiere, adâncimea de aşchiere etc.), iar procesul de aşchiere este însoțit de fenomene (statice, dinamice, termice, chimice) complexe. Aceste fenomene influențează hotărâtor indicatorii tehnico-economici, deoarece apar o serie de neajunsuri ca:

- regimul de lucru stabilit nu asigură încărcarea uniformă şi la întreaga capacitate a sistemului tehnologic pe tot parcursul timpului de bază;
- pentru atingerea unui anumit grad de precizie a prelucrării se prevede efectuarea unui număr mai mare de treceri, deoarece nu se cunoaşte exact comportarea sistemulu tehnologic.

Aceste dezavantaje sunt înlăturate prin introducerea *comenzii adaptive.* Caracteristic acestui sistem de comandă este faptul că, în cursul desfăşurării procesului de aşchiere, nu se mențin constanți parametrii convenționali ai regimului de aşchiere, ci, dimpotrivă, aceştia variază, astfel încât între ei să se păstreze anumite relații. Reglarea regimului de lucru constă deci în stabilirea setului de relații care asigură ca procesul de prelucrare să se realizeze la indici tehnico-economici optimizați. Comanda adaptivă (AC) este implementată frecvent la MUCN, deoarece acestea au multiple posibilități de control. Maşinile dotate cu AC (fig. 8.237) dispun de un circuit de reacție suplimentar, care, culegând valorile parametrilor procesului indicate de un sistem de senzori, le prelucrează şi elaborează decizii în legătură cu strategia de optimizare adaptivă.

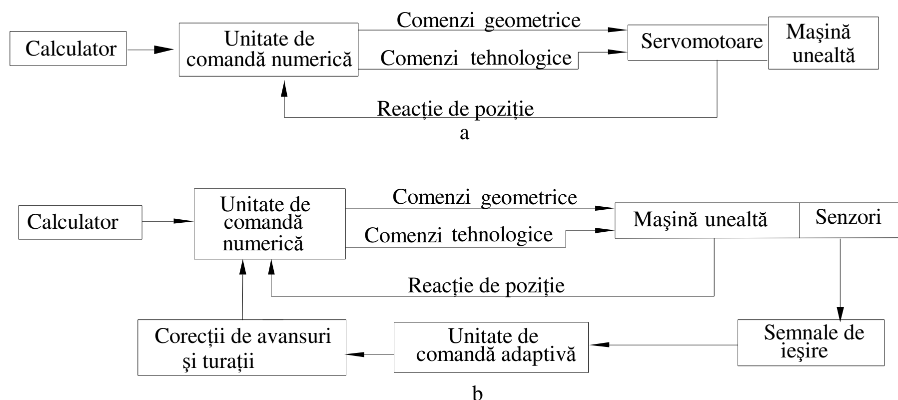


Fig. 8.237. Schemele de principiu ale maşinilor-unelte cu comandă adaptivă: a - cu sisteme ACC; b – cu sistemul ACO.

Prin intermediul senzorilor se măsoară alți parametrii decât cei convenționali, cum ar fi: componentele forței de aşchiere, puterea absorbită, uzura

sculei, dimensiunile suprafeței prelucrate, amplitudinea vibrațiilor sistemului tehnologic, temperatura zonei de lucru etc.

Sistemele de comandă adaptivă se împart în două categorii:

- sisteme ACC (*Adaptive Control Constant*), care permit ca anumiți parametrii ai procesului (cei mai importanți) să fie menținuti între anumite limite, în acest scop reglând permanent parametrii cinematici ai procesului;

- sisteme ACO (*Adaptive Control Optimisation*), care permit, pe baza unei funcții de eficiență (costul, productivitatea, profitul etc.), să se calculeze permanent valorile optime ale parametrilor, folosind ca date de intrare semnalele culese de senzori.

Sistemele de comandă adaptivă (îndeosebi ACO) sunt încă puțin răspândite din cauza dificultăților tehnice de realizare a senzorilor.

8.14.3. Centre de prelucrare

Centrele de prelucrare sunt maşini-unelte ce derivă din: maşini de alezat şi frezat, maşini de frezat, strunguri şi maşini de găurit, comandate numeric, cărora li se adaugă magazinul de scule şi mecanismele necesare schimbării şi transferului sculei.

Prelucrarea pieselor pe centrele de prelucrare se realizează fără desprinderea pieselor de pe masa maşinii, prin utilizarea mai multor scule de dimensiuni şi tipuri diferite, dispuse în magazin, în acest fel mărindu-se foarte mult timpul efectiv de aşchiere (ajunge până la 75% din timpul total, față de maximum 45% la maşinile-unelte convenționale).

Centrele de prelucrare permit creşterea productivității la prelucrarea pieselor complicate în serie mică sau unicate.

Clasificarea centrelor de prelucrare se face după mai multe criterii:

- după tipul maşinii-unelte din care provin (centre de prelucrare prin strunjire, găurire, alezare şi rectificare, combinate etc.);
- după poziția arborelui principal (orizontală sau verticală);
- după forma şi tipul magazinului de scule (magazin disc, cu lanț etc.);
- după tipul unității de transfer a sculei (cu mână mecanică simplă sau dublă, cu mâini mecanice şi mecanisme de transfer etc.).

Schema de principiu a unui *centru de prelucrare cu magazin de scule tip lanț* se prezintă în figura 8.238. Lanțul L al magazinului de scule execută mişcarea I, pentru aducerea sculei programate în poziția corespunzătoare transferului ei în arborele principal AP. Pentru aducerea sculei S din magazin în AP se utilizează două mâini mecanice M_1 şi M_2 şi manipulatorul MA. Când scula selectată S ajunge în poziția de pe desen, mâna mecanică execută mişcările II şi III, o extrage din locaşul său şi o transportă în manipulatorul MA, care se roteşte cu 90^o în direcția IV, aducând axa sculei paralelă cu cea a AP. Sania portmanipulator PM se deplasează pe verticală (V) şi aduce mâna mecanică dublă M_2 în poziția

corespunzătoare sculei din MA. Mâna M_2 execută mişcările VI şi VII , scoate scula şi o introduce în AP, iar pe cea din AP o aduce în manipulator şi prin M_1 din nou în magazinul de scule. Sania PM se deplasează în poziţia de lucru şi prelucrează piesa P ce se găseşte fixată pe masa MR , care are mişcările VIII, IX şi X.

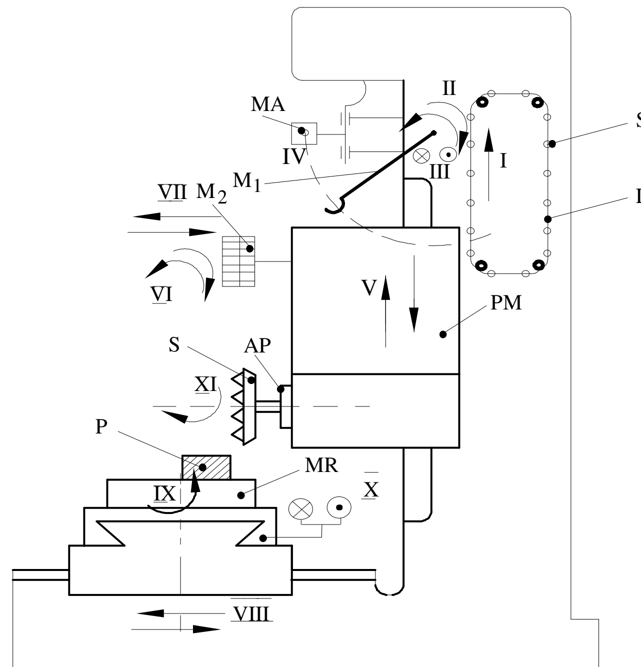


Fig. 8.238. Schema de principiu a unui centru de prelucrare cu magazin cu lanţ:
S - sculă; L - lanţ; MA - manipulator; M_1; M_2 - mâini mecanice; PM - sanie portmanipulator;
MR - masa centrului de prelucrare; AP - ax principal; P - piesa de prelucrat;
I; II; … ;XI - mişcările necesare prelucrării.

8.14.4. Maşini-unelte agregate, linii automate şi sisteme flexibile

Mărirea productivităţii prelucrării pe maşinile-unelte se poate realiza prin suprapunerea operaţiilor procesului tehnologic, adică realizarea lor simultană.

8.14.4.1. Maşina-unealtă agregat

Reprezintă un sistem de maşini montate pe acelaşi batiu şi care serveşte la executarea unui proces tehnologic de prelucrare prin aşchiere, ce cuprinde operaţii de: strunjire, găurire, adâncire, alezare, lamare, filetare, strunjire etc. În timpul prelucrării, piesa poate rămâne într-o singură poziţie, maşina având un singur post de lucru (monopoziţională) sau îşi poate schimba succesiv poziţia, maşina având

mai multe posturi de lucru (multipoziţionale). Prelucrarea se poate efectua după o direcţie de prelucrare sau după mai multe direcţii de prelucrare, maşinile-unelte agregat putând fi *cu transfer circular* sau *cu transfer liniar*. Câteva tipuri caracteristice de maşini-unelte agregat se prezintă în figura 8.239.

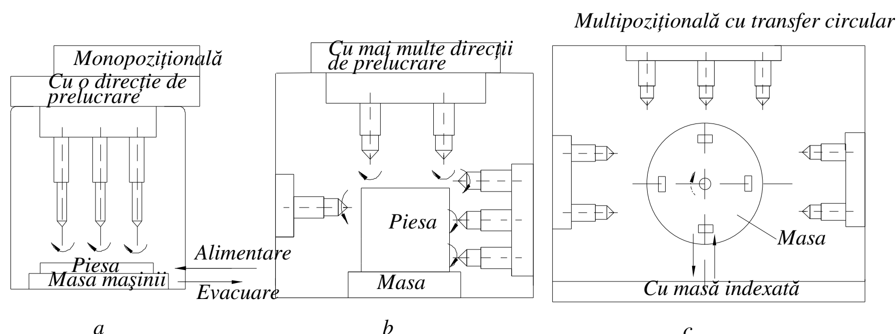


Fig. 8.239. Tipuri caracteristice de maşini-unelte agregat:
a - cu o direcţie de prelucrare; b - cu mai multe direcţii de prelucrare; c - multipoziţională cu transfer circular.

Caracteristica fundamentală a unei maşini-unelte agregat este aceea că în compunerea ei intră elemente normalizate, tipizate, în construcţie modulară, structura ei fiind determinată de criteriile următoare: forma, dimensiunile şi precizia de prelucrare a pieselor, productivitatea, criteriul tehnologic şi criteriul cinematic.

8.14.4.2. Linia automată de maşini–unelte

Reprezintă un sistem de maşini, dispuse într-o succesiune tehnologică, logică ce înglobează şi mijloacele de transfer, de înmagazinare, de comandă etc. Posturile de lucru din componenţa liniei asigură mişcările de lucru necesare îndeplinirii unui proces tehnologic de prelucrare, control, montaj etc. Funcţionarea ritmică a unei linii automate se caracterizează prin tactul sau ritmul τ al liniei, care reprezintă perioada ciclului ei de lucru (timpul de lucru scurs între ieşirile de pe linie a două piese succesive). Cele mai răspândite sunt liniile automate realizate din maşini-unelte agregat plasate în flux direct, cu legătură rigidă între posturile de lucru, sau în flux cu legătură elastică între posturile de lucru.

8.14.4.3. Sisteme flexibile de prelucrare

Schimbarea frecventă a produselor şi cerinţele mai mari de diversificare a acestora implică necesitatea ca un număr tot mai mare de piese să poată fi prelucrate în serii mici sau unicat, în condiţii de productivitate şi eficienţă ridicată. A apărut astfel necesitatea realizării unor sisteme tehnologice cu o mare

flexibilitate, sisteme cu mare capacitate de adaptare rapidă şi economică la un program de fabricaţie variabil, în condiţiile unei automatizări a procesului de producţie. Scurtarea timpilor de producţie, micşorarea suprafeţelor de producţie, sistematizarea proceselor de producţie, posibilitatea lucrului în regim continuu cu o productivitate maximă sunt principalele avantaje ale unui sistem flexibil de prelucrare.

Structura unui sistem flexibil de prelucrare se prezintă în figura 8.240. Calculatorul comandă echipamentele numerice ale celulelor din structura sistemului, fluxul de semifabricate şi piese, alegerea seriei de piese în lucru, numărul de piese din serie, fluxul de scule, supraveghează funcţionarea sistemului şi efectuează calcule de optimizare a procesului de prelucrare.

Sistemele flexibile se clasifică după trei criterii de bază: după caracteristica producţiei, după tipurile caractersirice de forme ale pieselor prelucrate şi după tipul maşinilor-unelte ce fac parte din sistem. Opţiunea pentru o maşină-unealtă cu comandă numerică, un centru de prelucrare, o maşină-unealtă agregat, o linie automată sau un sistem flexibil de prelucrare se face numai în urma unor calcule de eficienţă economică, deoarece investiţiile necesare realizării lor sunt mari.

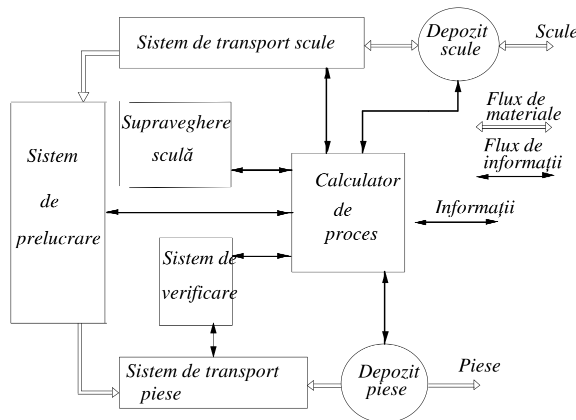


Fig. 8.240. Structura unui sistem flexibil de prelucrare.

8.15. OPTIMIZAREA PROCESULUI DE AŞCHIERE

8.15.1 Consideraţii generale

Aşchierea materialelor, ca procedeu final de obţinere a unei piese, cu calităţile cerute de utilizarea ei şi prevăzute de proiectant, presupune participarea a cinci grupe de factori:

- materialul de prelucrat, cu proprietăţile sale;
- scula aşchietoare, confecţionată dintr-un material adecvat şi cu geometria

necesară utilizării ei;

- regimul de aşchiere cu parametrii săi;
- maşina-unealtă, ca suport al procesului de aşchiere;
- mediul de aşchiere.

Studiul condiţiilor in care trebuie să aibă loc un proces de aşchiere trebuie să ţină seama de realizarea tuturor aspectelor unei economicităţi maxime şi anume:

- obţinerea unei productivităţi corespunzătoare, înţelegând prin aceasta un anumit volum de aşchii în unitatea de timp;
- cost minim, incluzând în calcul toate costurile elementelor care participă la procesul de aşchiere (scula, amortizarea maşinii-unelte, energie etc.);
- calitatea optimă a suprafeţei prelucrate, adică rugozitatea, ecruisarea suprafeţei, transformări structurale care modifică funcţionalitatea suprafeţei respective şi altele;
- condiţii bune de muncă, referitoare la respectarea normelor de tehnica securităţii muncii şi a igienei industriale.

Determinarea valorilor optime ale parametrilor procesul de aşchiere este o operaţie extrem de dificilă, deoarece în cadrul acestui procedeu au loc o serie de fenomne (deformaţii plastice, frecare exterioară şi interioară, fenomene termice, uzura sculelor aşchietoare, modificarea mediului de aşchiere etc.) într-o interdependenţă reciprocă uneori greu de descris de funcţiile matematice.

8.15.2. Stabilirea condiţiilor optime ale procesului de aşchiere

8.15.2.1. Consideraţii generale

Prin realizarea condiţiilor optime de aşchiere se înţelege ansamblul elementelor, în care are loc procesul de aşchiere, datorită cărora acesta va avea productivitate maximă, preţul de cost minim si asigurarea prescripţiilor de precizie şi calitate cerute prelucrării.

Realizarea condiţiilor optime ale procesului de aşchiere presupune:

- stabilirea geometriei optime a sculei aşchietoare;
- stabilirea elementelor regimului optim de aşchiere;
- durabilitatea economică;
- determinarea prelucrabilităţii prin aşchiere a materialului de prelucrat;
- stabilirea capacităţii de aşchiere a sculei aşchietoare.

Pentru optimizarea procesului de aşchiere trebuie cunoscute mai întâi câteva noţiuni legate de calculul timpului minim de execuţie a unei suprafeţe:

Calculul minim de execuţie a unei suprafeţe. Timpul de execuţie τ_e se calculează cu relaţia:

$$\tau_e = \frac{\tau_{pi}}{n} + \tau_b + \tau_a + \frac{\tau_b}{T} \cdot \tau_s \quad [\min] \,, \qquad (8.230)$$

în care τ_{pi} este timpul în care operatorul, înainte de începerea lucrării unui lot de piese, creează condiţiile de executare a lucrării, în minute; τ_b - timpul de bază (timpul efectiv de aşchiere), în minute; τ_a - timpul ajutător sau auxiliar (fixarea şi scoaterea piesei, porniri şi opriri ale maşinii, măsurarea piesei etc.), în minute; τ_s - timpul de schimbare a sculei uzate cu una reascuţită, în minute; *T* – durabilitatea, în minute; *n* – numărul de bucăţi.

Timpul de bază τ_b este calculat în funcţie de genul prelucrării şi tipul de maşina-unealtă folosită. De exemplu, considerând o strunjire cilindrică la diametrul *d,* pe o lungime *l***,** făcută cu avansul *f* şi viteza de aşchiere v_c, timpul de bază este:

$$\tau_b = \frac{\pi \cdot d \cdot l}{f \cdot v_c} \quad [\text{min}] \quad . \tag{8.231}$$

Dacă se ia o durabilitate a sculei $T = C_v \cdot v_c^{\ k}$, atunci timpul de execuţie al suprafeţei τ_e devine:

$$\tau_e = \left(\frac{\tau_{pi}}{n} + \tau_a \right) + \left(\frac{\pi \cdot d \cdot l}{f \cdot v_c} \right) + \frac{\pi \cdot d \cdot l}{f \cdot v_c^{k+1} \cdot C_v} \cdot \tau_s \quad . \tag{8.232}$$

Din analiza relaţiei (8.232) se constată că timpul de execuţie al unei suprafeţe se compune din suma a trei termeni:

- un termen constant: $$\frac{\tau_{pi}}{n} + \tau_a \tag{8.233}$$

- un termen care scade cu creşterea lui v_c: $$\tau_b = \frac{\pi \cdot d \cdot j}{f \cdot v_c} \tag{8.234}$$

- un termen care creşte odată cu creşterea lui v_c:

$$\frac{\tau_b}{T} \cdot \tau_s = \frac{\pi \cdot d \cdot l}{f \cdot C_v \cdot v_v^{k+1}} \cdot \tau_s \tag{8.235}$$

Din reprezentarea grafică a celor trei termeni (fig. 8.241), rezultă că există un timp al prelucrării la o viteză de aşchiere optimă. Pentru a afla minimul, se derivează expresia (8.232) în raport cu v_c şi se anulează, rezultând:

$$\frac{\partial \tau_R}{\partial v_c} = \frac{\pi \cdot d \cdot l}{f} \left(-\frac{1}{v_c^2} \right) + (k+1) \frac{\pi \cdot d \cdot l}{f \cdot C_v} \tau_s \cdot \left(-\frac{1}{v_c^{k+2}} \right) \tag{8.236}$$

$$\frac{\partial \tau_e}{\partial v_c} = 0 \Rightarrow v_{c,opt} = \sqrt[k]{-(k+1)\frac{\tau_s}{C_v}} \quad . \tag{8.237}$$

Înlocuind valoarea $v_{c,opt}$ în relația (8.232) se obține:

$$\tau_{e,\min} = (\frac{\tau_{pi}}{n} + \tau_a) - (k+1)\tau_s \quad , \tag{8.238}$$

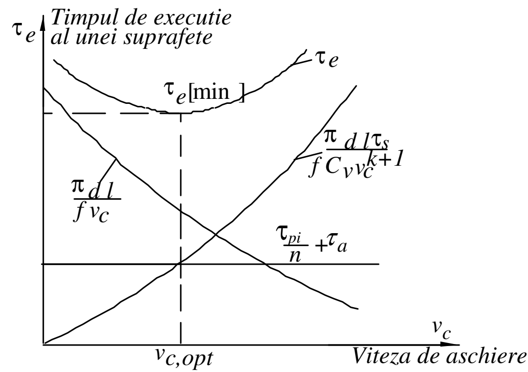


Fig. 8.241. Determinarea timpului minim de execuție a unei suprafețe.

ceea ce arată că acest timp depinde de timpul de schimbare a sculei şi de panta k (panta curbei ce exprimă dependența dintre viteza de aşchiere si durabilitate);

Calculul costului minim al prelucrării. Costul implică toate cheltuielile efectuate cu executarea piesei (salarii, amortizare maşini-unelte, scule, materiale, energie etc.), deci atât munca vie (a operatorului de maşină, a celor de deservire, a celor de la ascuțitorie etc.),cât şi cea trecută, materializată (de elaborare a materialelor, de amortizare a utilajelor si sculelor, energie electrică etc.). Costul pentu o piesa C_Σ, se calculează cu relația:

$$C_\Sigma = C_{S-M}\left(\frac{\tau_{pi}}{n} + \tau_a\right) + C_{S-M}\cdot\tau_b + \frac{\tau_b}{T}\left(C_{S-M}\cdot\tau_s + C_{ST}\right) \quad , \tag{8.239}$$

unde $C_{S\text{-}M}$ este costul salariilor şi amortizării maşinii-unelte, în lei/piesă; C_{ST} - costul sculei/durabilitate, în lei.

Din analiza relației (8.239) se constată că pentru o piesă, costul C_Σ se compune din suma a trei termeni (fig. 8.242):

- un termen constant: $C_{S-M} = \left(\frac{\tau_{pi}}{n} + \tau_a\right)$ (8.240)

- un termen care scade cu creşterea lui v_c: $C_{S-M}\cdot\tau_b = C_{S-M}\,\frac{\pi\cdot d\cdot l}{f\cdot v_c}$ (8.241)

- un termen care creşte odată cu creşterea lui v_c:

$$\frac{\tau_b}{T}\left(C_{S-M}\cdot\tau_s + C_{ST}\right) = \frac{\pi\cdot d\cdot l}{f\cdot v_c}\left(C_{S-M}\cdot\tau_s + C_{ST}\right) \quad . \tag{8.242}$$

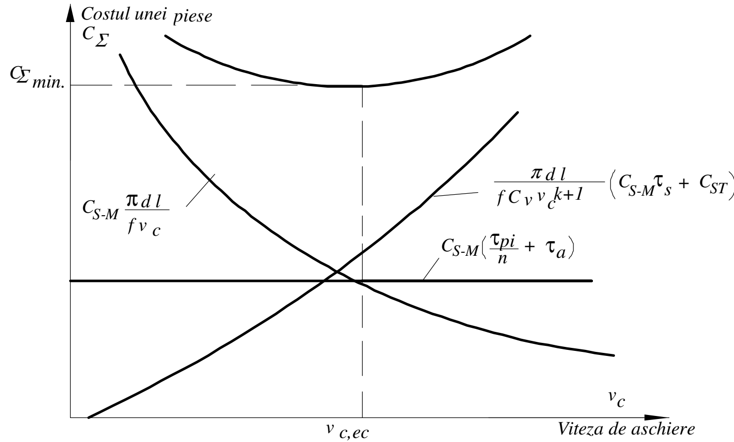


Fig. 8.242. Determinarea costului minim al unei prelucrări prin aşchiere.

Pentru a afla viteza pentru care costul este minim, deci viteza economică, se diferențiază relația (8.239) în raport cu v_c , iar rezultatul se anulează:

$$\frac{\partial C_\Sigma}{\partial v_c} = C_{S-M}\,\frac{\pi\cdot d\cdot l}{f}\left(-\frac{1}{v_c^2}\right) - \left(\frac{k+1}{v_c^{k+2}}\right)\frac{\pi\cdot d\cdot l}{f\cdot C_v}(C_{S-M}\cdot\tau_s + C_{ST}) \tag{8.243}$$

$$\frac{\partial C_\Sigma}{\partial v_c} = 0 \Rightarrow v_{c,ec} = \sqrt[k]{-(k+1)\frac{\tau_s + \dfrac{C_{ST}}{C_{S-M}}}{C_v}} \quad . \tag{8.244}$$

Înlocuind expresia (8.244) în relația :

$$T = C_v \cdot v_v^k \tag{8.245}$$

se obține durabilitatea economică T_{ec} (corespunzătoare costului minim, deci productivității muncii sociale):

$$T_{ec} = -(k+1)\left(\tau_s + \frac{C_{ST}}{C_{S-M}}\right) \quad . \tag{8.246}$$

Deci, durabilitatea economică depinde de panta *k*, de timpul de schimbare a sculei şi de raportul dintre costul sculei şi costurile salariilor şi amortizării maşinii-unelte.

După stabilirea durabilității economice T_{ec}, cu relația (8.246), se poate calcula $v_{c,ec}$, dar este necesar să se țină seama şi de celelalte elemente ale regimului

de aşchiere (adâncimea de aşchiere a_p şi avansul f). Pentru aceasta se stabileşte o relaţie de forma $v_c = F(a_p, f)$, astfel încât să se obţină o durabilitate economică. Se obţin în acest mod expresii de forma:

- pentru strunjire:

$$v_{c,ec} = \frac{C_v}{T_{ec}^m \cdot a_p^{x_v} \cdot f^{y_v}} \cdot k_v \quad (8.247)$$

şi:

- pentru frezare:

$$v_{c,ec} = \frac{C_v \cdot D_s^{q_v}}{T_{ec}^m \cdot a_p^{x_v} \cdot f_z^{y_v} \cdot z^{u_v}} \cdot k_v \quad (8.248)$$

în care C_v; x_v; y_v; q_v; g_v; u_v sunt constante determinate experimental; f_z - avansul pe dinte; z - numărul de dinţi; D_s - diametrul sculei; k_v - coeficient de corecţie ce ţine cont de toate condiţiile în care are loc prelucrarea având forma:

$$k_v = k_T \cdot k_{prel} \cdot k_{st} \cdot k_c \cdot k_s \cdot k_\alpha \cdot k_\gamma \cdot k_\kappa \cdot k_{\kappa_1} \cdot k_r \cdot k_A \cdot k_h \cdot k_d \cdot k_W \quad , \quad (8.249)$$

în care k_T este un factor ce ţine cont de durabilitate; k_{prel} - coeficient ce ţine cont de prelucrabilitate; k_{st} - coeficient ce ţine cont de starea materialului de prelucrat; k_c - coeficient ce ţine cont de starea suprafeţei; k_s – coeficient ce ţine cont de influenţa materialului sculei; $k_{\alpha,\ \gamma,\ \chi,\ \chi 1,\ r}$ - influenţa parametrilor geometrici ai sculei; k_A - coeficient ce ţine cont de influenţa formei şi secţiunii aşchiei; k_h - coeficient ce ţine cont de influenţa uzurii sculei; k_d - coeficient ce ţine cont de influenţa formei suprafeţei de degajare ; k_W - coeficient ce ţine cont de influenţa mediului de aşchiere.

8.15.2.2. Etapele optimizării procesului de aşchiere

Cunoscând precizia de prelucrare, calitatea cerută suprafeţei, prelucrabilitatea materialului şi fenomenele ce apar în procesul de aşchiere, se poate alege o *funcţie obiectiv* (*scop*), care să permită obţinerea unui cost minim, unei productivităţi maxime, a unui consum minim de energie etc. Funcţia obiectiv F_{ob} este de forma:

$$F_{ob} = f(\ G_{sA}\ ,\ v_c\ ,\ f\ ,\ a_p\ ,\ CT,\ RT) \quad , \quad (8.250)$$

în care G_{SA} se referă la geometria sculei aşchietoare; v_c; f; a_p - elementele regimului de aşchiere; CT - condiţiile tehnologice; RT - restricţiile tehnologice.

Optimizarea funcţiei obiectiv se poate face prin mai multe metode:

- optimizarea după *costul prelucrării;*
- optimizarea după *productivitatea tehnologică;*
- optimizarea după *profitul specific* etc.

Întocmirea modelului matematic de optimizare a funcţiei obiectiv presupune parcurgerea în succesiune logică a mai multor etape.

a. Stabilirea elementelor geometrice optime ale sculei aşchietoare. Se face ținând cont de influența fiecărui element geometric asupra gradului de deformare a stratului aşchiat, forței principale de aşchiere, forțelor de frecare față de aşezare - suprafață prelucrată şi față de degajare-aşchie, lucrului mecanic total, temperaturii în zona de aşchiere, intensității uzurii, modului de formare şi dirijare a aşchiei, rezistenței la solicitări mecanice etc.

1 – *Stabilirea unghiului de degajare optim* se face ținând cont de influența acestuia asupra: apăsării specifice *k* (fig.8.243), frecării pe fața de degajare f_d, temperaturii θ, forței principale de aşchiere F_c, durabilității *T* şi uzurii *B*. Din figură se constată că valorile optime $\gamma_{opt} = (20^o ...40^o)$ şi respectiv $\delta_{opt} = (70^o...50^o)$.

2 – *Stabilirea unghiului de aşezare optim* se alege aşa fel încât să permită o reducere a forței principale de aşchiere F_c, reducerea uzurii *B,* pe fața de aşezare, micşorarea temperaturii în zona de lucru şi creşterea rezistenței mecanice a vârfului. Se găseşte $\alpha \in (16^o...25^o)$.

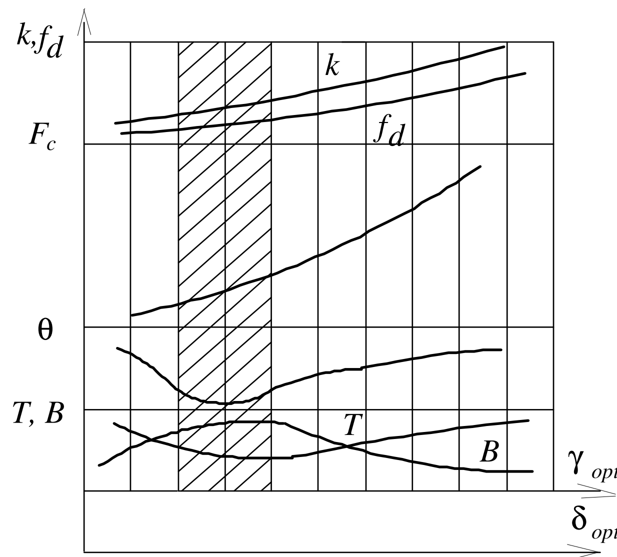


Fig. 8.243. Stabilirea unghiului de degajare optim γ_{opt} şi a unghiului de aşchiere optim δ_{opt}.

3 – *Stabilirea unghiurilor de atac k_r şi k'_r optime* se face ținând cont de influența lor asupra rugozității suprafeței prelucrate, apăsării specifice şi durabilității. Se găseşte $k_{r\ opt} \in (45^o...60^o)$ şi $k'_{r\ opt} \in (0^o...10^o)$.

4 – *Forma optimă a vârfului sculei* se alege ținând cont de influența acestuia asupra temperaturii în zona de lucru, uzurii tăişului şi înălțimii microneregularităților. Se constată că forma optimă este atunci când vârful sculei are o rază de racordare $r_{\beta\ opt} \in (1{,}5...2\ mm)$.

5 – *Stabilirea unghiului de înclinare optim* $\lambda_{S\ opt}$ se face ţinând cont de natura materialului, forma aşchiei şi frecarea pe faţa de degajare. Se găseşte un $\lambda_{S\ opt} \in (2^o...10^o)$.

În funcţie de natura şi proprietăţile fizico-mecanice ale materialului de prelucrat se alege *materialul părţii active a sculei aşchietoare*.

În funcţie de solicitătile mecanice la care este supusă scula aşchietoare se alege *secţiunea părţii active* a sculei şi forma părţii de prindere a sculei.

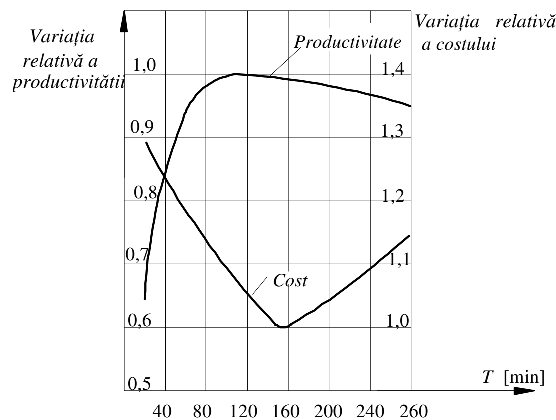


Fig. 8.244. Diagrama stabilirii durabilităţii economice.

Se alege apoi *durabilitatea economică* T_{ec}, în funcţie de natura materialului de prelucrat, forma sculei, secţiunea părţii active şi scopul propus (productivitate maximă, cost minim, profit maxim etc.). Durabilitatea economică se alege ţinând cont şi de diagrama de variaţie a productivităţii şi respectiv a costului cu durabilitatea sculei (fig. 8.244).

b. Stabilirea elementelor regimului optim de aşchiere. Prin optimizarea regimului de aşchiere se înţelege determinarea acelor valori ale parametrilor săi, pentru care prescripţiile tehnice restrictive sunt respectate, în condiţiile unor parametrii economici cât mai favorabili. Alegerea valorilor optime pentru parametrii regimului de aşchiere se face ţinând cont de interdependenţa dintre regimul de aşchiere şi condiţiile tehnologico-economice (tabelul 8.4). Dacă se consideră că optimizarea funcţiei obiectiv se face în condiţiile realizării unui preţ de cost minim, se parcurg etapele:

1 – Stabilirea *adâncimii de aşchiere* a_p şi *a numărului de treceri i*. Se face în funcţie de felul operaţiei şi mărimea adaosului de prelucrare A_p.

Adâncimea de aşchiere se calculează cu relaţia:

$$a_p = A_c/i \qquad (8.251)$$

în care A_c este adaosul de prelucrare calculat pe o parte; *i* – numărul de treceri.

Tabelul 8.4. *Dependența indicatorilor tehnico-economici de parametrii regimului de așchiere*

Indicatorul tehnic sau economic		Parametrii regimului de așchiere		
		v_c	f	a_p
Forța de așchiere		↘	↗	↗
Nivelul de generare a erorilor pe suprafața prelucrată		→	↗	→
Modificarea deformației elastice ca urmare a variației indicilor de rigiditate		→	↗	↗
Deformația termică raportată la unitatea de suprafață		→	→	→
Uzura radială specifică a sculei		↗	↘	↗
Amplitudinea vibrației forțate		↗	→	→
Înălțimea microneregularităților de generare		→	↗	→
Înălțimea microneregularităților	procese de viteză mică (alezare, broșare etc)	↗	↗	→
de așchiere	procese de viteză mare (strunjire,rectificare etc.)	↘	→	→
Stabilitatea statică a procesului		→	↘	↘
Stabilitatea dinamică a procesului		↗	↘	↘
Consumul specific de energie		↘	↘	↘
Costul de producție		↗	↘	↘
Productivitatea tehnologică		↘	↗	↗

La prelucrările de degroșare se urmărește ca numărul de treceri să fie cât mai mic și adâncimea a_p cât mai mare (pentru creșterea productivității). În aceste condiții adâncimea de așchiere este limitată de puterea mașinii-unelte și rezistența materialului de adaos.

La prelucrările de finisare adâncimea de așchiere se alege în așa fel încât să permită realizarea prescripțiilor tehnice legate de precizia prelucrării și rugozitatea suprafeței.

2 − Stabilirea *avansului de așchiere*. Valoarea lui depinde de rezistența corpului sculei, eforturile admise în mecanismele lanțului cinematic de avans, precizia dimensională prescrisă și rugozitatea suprafeței prelucrate.La prelucrările de degroșare se caută ca avansul să fie cât mai mare, cu condiția respectării factorilor restrictivi, iar la prelucrările de finisare să fie cât mai mic.

3 − Determinarea *funcției de eficiență*. Se pleacă de la costul operației de prelucrare C, care se determină cu relația:

$$C = C_1 \cdot \tau_m + C_2 \cdot n_s \quad , \tag{8.252}$$

în care C_1 este salariul, în lei/min, al muncitorului la operația respectivă; C_2 - cheltuieli legate de schimbarea sculei, în lei/min; τ_m – timpul de bază de mașină;

n_s - numărul de reascuțiri ale sculei în timpul realizării operației respective.

În cazurile cele mai frecvente de prelucrare (strunjire, frezare, burghiere etc.), timpul de maşină τ_m este:

$$\tau_m = \frac{l \cdot A_p}{n \cdot a_p \cdot f} \quad , \tag{8.253}$$

în care l este lungimea de lucru; n - turația; f - avansul; A_p - adaosul de prelucrare.

Numărul de reascuțiri ale sculei n_s se calculează cu relația:

$$n_s = \frac{\tau_m}{T_{ec}} \quad , \tag{8.254}$$

în care T_{ec} este durabilitatea economică.

Ținând cont de (8.253) şi (8.254) relația (8.252) devine:

$$C = C_1 \frac{l \cdot A_p}{n \cdot a_p \cdot f} + C_2 \frac{\tau_m}{T_{ec}} = C_1 \frac{l \cdot A_p}{n \cdot a_p \cdot f}\left(1 + \frac{C_2}{C_1 \cdot T_{ec}}\right) \; , \tag{8.255}$$

Punând condiția ca prețul de cost să fie minim, se determină *viteza economică de aşchiere* folosind relațiile (8.247) şi (8.248).

4 − Stabilirea *turației* şi *a vitezei reale de aşchiere*. Turația economică n_{ec} se calculează cu relația:

$$n_{ec} = \frac{1000 \cdot v_{c,ec}}{\pi \cdot d} \quad [\text{rot/min}] \; , \tag{8.256}$$

în care d este diametrul suprafeței ce se prelucrează, în mm.

Cum din construcție lanțul cinematic principal nu poate realiza decât o anumită gamă de turații, se alege turația cea mai apropiată, imediat inferioară n_r şi se calculează apoi viteza reală de aşchiere v_p :

$$v_p = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad [\text{m/min}] \; . \tag{8.257}$$

5 − Stabilirea *relațiilor de restricție*. Deoarece realizarea procesului de aşchiere are loc în anumite condiții tenhico-organizatorice, trebuie ținut cont de o serie de restricții care apar:

- *restricții de natură cinematică*:

$$f_{\min} < f < f_{\max}; \;\; n_{\min} < n < n_{\max} \quad , \tag{8.258}$$

- *restricții de natură statică şi dinamică*:

$$F_f \le (F_f)_{cap}; \; F_p \le (F_p)_{cap}; \;\; F_c \le (F_c)_{cap} \; , \tag{8.259}$$

$$P = F_c \cdot v < \eta \cdot P_0; \; F_i \le (F_i)_{cap} \quad , \tag{8.260}$$

unde F_f; F_p; F_c sunt componentele forței de așchiere; $(F_f)_{cap}$, $(F_p)_{cap}$, $(F_c)_{cap}$ sunt valorile capabile ale acestora; P - puterea necesară pentru așchiere; P_0 - puterea nominală a acționării sistemului tehnologic; F_i, $(F_i)_{cap}$ - forța de inerție efectivă și respectiv capabilă.

• *restricții datorate vitezei de așchiere*. Ținând cont de faptul că durabilitatea variază sensibil cu viteza de așchiere, relația de restricție rezultă din faptul că, de regulă, se alege o viteză reală de așchiere mai mică decât viteza economică de așchiere, deci:

$$\frac{C_v}{T^m \cdot a_p^{x_v} \cdot f^{y_v}} \cdot k_t \geq \frac{\pi \cdot d \cdot n_r}{1000} \quad , \tag{8.261}$$

în care n este turația reală aleasă; k_t - coeficient de corecție total, ce ține cont de condițiile de așchiere; C_v; m; x_v; y_v - coeficienți de corecție determinați experimental.

- *restricții impuse de stabilitatea termică a sculei*:

$$\theta = C_\theta \cdot v_{creal}^{x\theta} \cdot f^{x\theta} \cdot a_p^{z\theta} \leq \theta_{adm} \quad , \tag{8.262}$$

în care θ și θ_{adm} reprezintă valoarea efectivă și respectiv admisibilă în zona de așchiere; C_θ; x_θ; y_θ; z_θ - constante dependente de caracteristicile sculei și semifabricatului.

• *restricții impuse de precizia prelucrării*. Se ia în considerare ponderea fiecărei erori în parte, eroarea totală ε_T trebuind să satisfacă condiția:

$$\varepsilon_T \leq \Delta \, , \tag{8.263}$$

în care Δ reprezintă mărimea câmpului de toleranță.

• *restricții datorate uzării sculei*. Asigurarea preciziei de prelucrare impune ca uzura radială a sculei h_r să îndeplinească condiția:

$$h_r = \frac{h_0}{T_{ec}} \cdot \tau_b = \frac{h_0 \cdot V}{v_c \cdot f \cdot a_p \cdot T_{ec}} \leq (h_r)_{adm} \quad , \tag{8.264}$$

în care: h_0 este uzura admisibilă a sculei; V - volumul de așchii detașat în cursul prelucrării; $(h_r)_{adm}$ - uzura admisibilă la o singură prelucrare; v_c, a_p, f - parametrii regimului de așchiere.

• *restricții impuse de deformația elastică a sistemului tehnologic*. În acest caz, restricția ce trebuie impusă este:

$$y = \frac{F_f}{J_{xy}} + \frac{F_p}{J_{yy}} + \frac{F_c}{J_{zy}} \leq y_{adm} \quad , \tag{8.265}$$

unde y este deformația elastică efectivă a sistemului tehnologic; F_f; F_p; F_c - componenetele forței de așchiere; J_{xy}; J_{yy}; J_{zy} - indici de rigiditate; y_{adm} - deformația

admisibilă a sistemului tehnologic.

• *restricţii impuse de calitatea suprafeţei*. Rezultă din expresia analitică a înălţimii microasperităţilor şi din modul de deplasare a generatoarei sau directoarei materializate în lungul directoarei. De exemplu, la strunjire restricţia este:

$$\frac{f^2}{8 \cdot r_\varepsilon} \le (R_z)_{adm} \quad , \tag{8.266}$$

în care r_ε este raza la vârful sculei; f - avansul; $(R_z)_{adm}$ - înălţimea medie admisibilă a microasperităţilor.

• *restricţii datorate adâncimii de aşchiere*, care au forma:

$$a_{po} \le a_p \le A_p \quad , \tag{8.267}$$

în care : A_p este adaosul de prelucrare; a_{p0} - adâncimea minimă de aşchiere, sub care practic aşchierea se elimină, obţinându-se mai mult o tasare a stratului superficial.

• *restricţii datorate rigidităţii dinamice a maşinilor-unelte*. Din studiul rigidităţii maşinii-unelte şi a influenţei acesteia asupra preciziei de prelucrare se găseşte relaţia restrictivă:

$$a_p^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} \le R_{din} \frac{k_1 \cdot \Delta}{\lambda \cdot C_{F_c}} \quad , \tag{8.268}$$

în care R_{din} este rigiditatea dinamică a maşinii-unelte; Δ - tolerața la prelucrarea respectivă; k_1 - coeficient de corecţie subunitar, ce reprezintă o fracţiune din toleranţă; x_{Fc} , y_{Fc} - coeficienţi determinaţi experimental funcţie de natura materialului de prelucrat.

• *restricţii impuse de ritmul liniei tehnologice*, apar atunci când procesul de aşchiere se efectuează pe o linie tehnologică în flux continuu, iar timpul de lucru pe bucată la fiecare operaţie trebuie să fie egal sau cel puţin mai mic decât ritmul liniei tehnologice R_l. Astfel se poate demonstra relaţia restrictivă:

$$n \cdot a_p \cdot f \ge \frac{l \cdot A_p}{R_l \cdot m_i \cdot k_i - \tau_1} \quad , \tag{8.269}$$

în care m_i este numărul de maşini-unelte la operaţia i ; k_i - coeficientul de încărcare a maşinilor - unelte; τ_l - timpul auxiliar cumulat cu cel de pregătire-încheiere; l - lungimea de lucru; A_p - adaosul de prelucrare.

Observaţii:

- aceleaşi etape se parcurg şi în cazul în care optimizarea se face după productivitatea tehnologică, Q. În acest caz funcţia obiectiv are forma:

$$Q = \frac{1}{\tau_b + \tau_a + \frac{\tau_{sr}}{n_b}} \quad , \tag{8.270}$$

în care τ_b este timpul de bază la executarea operației; τ_a - timpul auxiliar; τ_{sr} - timpul necesar pentru reglarea şi schimbarea sculei; n_b - numărul de bucăți prelucrate între două reascuțiri.

- după ce s-au găsit funcția obiectiv şi restricțiile, se poate formula matematic problema optimizării procesului de aşchiere astfel: să se determine valorile optime pentru parametrii geometrici ai sculei şi *T, n, f,* a_p care fac prețul de cost minim, productivitatea maximă sau profitul maxim:

$$C = C_1 \frac{l \cdot A_p}{n \cdot a_p \cdot f}\left(1 + \frac{C_2}{C_1 \cdot T_{ec}}\right) = \min \quad \text{sau} \quad Q = \frac{1}{\tau_b + \tau_a + \frac{\tau_{sr}}{n_b}} = \max \tag{8.271}$$

în condițiile:

$$\begin{cases} f_{\min} < f < f_{\max}; \quad n_{\min} < n < n_{\max} \\ F_f \le \left(F_f\right)_{cap}; \quad F_p \le \left(F_p\right)_{cap}; \quad F_i \le \left(F_i\right)_{cap}; \\ F_c \cdot v_c < \eta \cdot P_0; \quad F_i \le \left(F_i\right)_{cap} \\ C_\theta \cdot v_c^{x\theta} \cdot f^{y\theta} \cdot a_p^{z\theta} \le \theta_{adm} \\ \varepsilon_T \le \Delta \\ \dfrac{1000 \cdot C_v \cdot k_t}{\pi \cdot d} \ge T^m \cdot a_p^{x_v} \cdot f^{y_v} \cdot n \\ a_p^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} \le R_{din} \cdot k_1 \cdot \Delta / \lambda \cdot C_{F_c} \\ n \cdot a_p \cdot f \ge l \cdot A_p /(R_l \cdot m_i \cdot k_i - \tau_1) \\ \dfrac{h_0 \cdot V}{v_c \cdot f \cdot a_p \cdot T_{ec}} \le (h_r)_{adm} \\ \dfrac{F_f}{J_{xy}} + \dfrac{F_p}{J_{yy}} + \dfrac{F_c}{J_{zy}} \le y_{adm} \\ \dfrac{f^2}{8r_\varepsilon} \le (R_z)_{adm} \\ a_{p0} \le a_p \le A_p \end{cases} \tag{8.272}$$

Rezolvarea modelului matematic nu prezintă dificultăți folosind programe de calcul întocmite deja şi soft-uri specializate existente.

8.16. PRINCIPIILE GENERALE DE PROIECTARE A PROCESELOR TEHNOLOGICE DE PRELUCRARE

8.16.1. Datele inițiale necesare proiectării proceselor tehnologice de prelucrare

Proiectarea unui proces tehnologic necesită o serie de informații legate atât de piesa sau produsul ce trebuie realizate, cât şi de cadrul organizatoric în care se va realiza procesul de producție (tipul producției, dotarea şi organizarea întreprinderii etc.), aşa cum se indică în paragraful 1. Primul element de care are nevoie inginerul tehnolog pentru proiectarea procesului tehnologic de prelucrare este desenul piesei. Desenul piesei trebuie să conțină:

- numărul necesar de proiecții şi secțiuni;
- toate cotele cu toleranțele necesare;
- mărimea rugozității pe toate suprafețele piesei;
- indicații referitoare la prelucrările care se fac la asamblare;
- indicații referitoare la tratamentul termic;
- indicații speciale referitoare la prelucrările deosebite (filetare de precizie, danturare etc.);
- indicații referitoare la materialul din care trebuie confectionată piesa (când nu sunt aceste indicații se face alegerea materialului folosind metoda de analiză a valorilor optime).

În afară de desenul de execuție al piesei, inginerul tehnolog trebuie să studieze cu atenție desenul de ansamblu al produsului din componența căruia face parte piesa respectivă, pentru a se vedea care este *rolul funcțional.*

În funcție de tipul producției, procesul tehnologic de prelucrare se poate proiecta ca executându-se:

- pe linii tehnologice în flux continuu (în producția de masă);
- pe grupe de masini după metoda concentrării sau divizării operațiilor (în producția de serie);
- pe baza tehnologiei de grup sau bucată cu bucată (în producția de serie mică şi individuală).

De asemenea, este deosebit de importantă cunoaşterea condițiilor reale în care urmează să se realizeze procesul tehnologic, deoarece inginerul tehnolog trebuie să posede toate datele referitoare la posibilitățile tehnologice ale utilajelor şi gradul lor de precizie, încărcarea utilajelor, gradul de calificare al personalului şi posibilitățile de cooperare cu alte întreprinderi.

Proiectarea unui proces tehnologic se realizează în trei etape:

- *sinteza procesului tehnologic,* în cursul căreia se stabilesc procesele de prelucrare prin care semifabricatul poate fi transformat în piesă finită, se organizează aceste procese în cadrul mai multor operații şi se precizează elementele de echipament tehnologic necesare (maşini-unelte, scule, dispozitive etc.).

Tabelul 8.5. *Etapele necesare proiectării unui proces tehnologic în funcție de caracterul producției*

Etape necesare	Caracterul producției		
	Unicate, serie mică	Serie mijlocie	Serie mare, masă
Sinteza procesului tehnologic	//////	//////	//////
Dimensionarea procesului tehnologic	—	//////	//////
Analiza procesului tehnologic	—	—	//////
Documentația tehnologică necesară	Fişa tehnologică	Plan de operații	- Plan de operații; - Fişe de reglaj; - Scheme de lucru;

- *dimensionarea procesului tehnologic,* în cadrul căruia se calculează valorile parametrilor de desfăşurare a proceselor de prelucrare (regimuri de aşchiere, adaosuri de prelucrare, norme de timp, consumuri de materiale etc.);

- *analiza procesului tehnologic,* în cadrul căreia se calculează parametrii tehnico-economici corespunzători diferitelor variante ale procesului tehnologic (cost de producție, coeficientul de utilizare al materialului, coeficientul timpilor de bază etc.).

Parcurgerea celor trei etape depinde de caracterul fabricației (de masă, serie sau individuală), iar documentația tehnologică cu care se încheie este diferită aşa cum se vede în tabelul 8.5.

Această etapă constă în stabilirea proceselor de prelucrare prin care un semifabricat poate fi transformat în piesă finită, organizarea acestor procese în cadrul mai multor operații şi indicarea echipamentului tehnologic necesar pentru realizarea lor. Parametrii regimului de aşchiere, stabilirea adaosurilor de prelucrare rămân a fi stabiliți pe loc, în cursul realizării efective a acestor procese.

8.16.2. Sinteza proceselor tehnologice

8.16.2.1. Tehnologicitatea construcției

Se înțelege prin tehnologicitatea construcției elaborarea soluțiilor constructiv-funcționale în aşa fel încît produsul să fie realizat cu satisfacerea

integrală a cerinţelor tehnico-funcţionale impuse, cu cheltuieli minime de muncă vie şi materializată, cu condiţia protecţiei operatorului şi a mediului ambiant.

Pentru obţinerea unui efect tehnico-economic maxim, cerinţele tehnologicităţii trebuie aplicate în toate etapele de realizare a produsului şi trebuie îndeplinite următoarele cerinţe:

- cerinţe cu caracter *constructiv:* simplitatea schemei de principiu, împărţirea produsului în subansambluri independente, care să permită efectuarea în mod independent a asamblării, controlului şi încercărilor, alegerea celor mai simple forme geometrice ale pieselor, alegerea raţională a materialelor, alegerea fundamentată a bazelor de aşezare, a sistemelor de cotare, de indicare a toleranţelor şi rugozităţii, asigurarea asamblării fără lucrări de ajustare, unificarea materialelor, ansamblelor şi elementelor constructive etc.;

- cerinţe cu caracter *tehnologic:* timpi de pregătire a fabricaţiei şi de asimilare în producţie cât mai mici, folosirea procedeelor tehnologice moderne, de înaltă productivitate, reducerea consumului de materiale, folosirea metodelor raţionale de control, asigurarea organizării raţionale a fabricaţiei şi montajului, a controlului şi încercărilor;

- cerinţe cu caracter *de exploatare:* stabilitate în funcţionare, asigurarea fiabilităţii şi durabilităţii dorite, asigurarea simplităţii deservirii tehnice şi a reparaţiilor, reducerea consumului de piese de schimb.

Cerinţele cu caracter constructiv sunt îndeplinite de proiectant, cele cu caracter de exploatare sunt stabilite de beneficiar, iar cele cu caracter tehnologic sunt îndeplinite de inginerul tehnolog.

Tehnologicitatea construcţiei pieselor prelucrate prin aşchiere este determinată de următorii factori:

a. Prelucrabilitatea prin aşchiere (aşchiabilitatea). Este proprietatea tehnologică a unui material de a-şi modifica forma prin îndepărtare de aşchii sau microaşchii sub acţiunea unor forţe exterioare, consumînd lucru mecanic sau energie cât mai puţină şi cu viteză cât mai mare.

Prelucrabilitatea prin aşchiere a unui material este definită de un ansamblu de factori (fig. 8.245) între care este greu de stabilit o legătură unică. Determinarea prelucrabilităţii prin aşchiere se face prin două criterii de bază: *criteriul* Z_θ - ce ia în considerare efectul uzurii sculei; *criteriul* Z_s - ce ia în considerare rugozitatea suprafeţei, forma aşchiei, formarea depunerilor pe tăiş etc.

Un material are o prelucrabilitate prin aşchiere bună în măsura în care aşchierea propriu-zisă satisface o serie de condiţii: durabilitate ridicată a sculei; timp scurt pentru îndepărtarea unei cantităţii prestabilite de aşchii; calitatea bună a suprafeţei; precizie dimensională ridicată; aşchii de formă favorabilă; energie minimă consumată pentru îndepărtarea aşchiilor etc.

b. Stabilirea bazelor de aşezare şi cotarea raţională. Bazele de aşezare sunt suprafeţele care determină poziţia piesei de prelucrat, pe maşina-unealtă sau în dispozitiv, faţă de scula aşchietoare. Cotele înscrise pe desenul piesei sunt cotele

funcționale. Ele pot fi realizate sigur numai atunci când bazele de așezare coincid cu bazele de cotare. De exemplu, la realizarea canalului de lățime *e* din figura 8.246, condiționat de cotele *c* și *d*, se poate folosi S_1 ca bază de așezare și S_2 ca bază de ghidare.

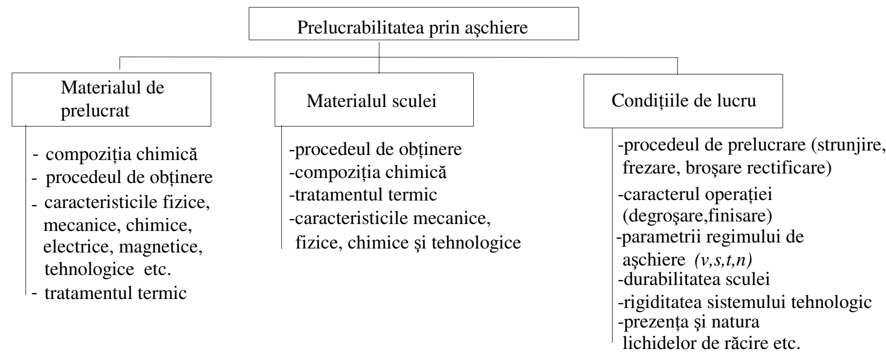


Fig. 8.245. Factorii de care depinde prelucrabilitatea prin așchiere.

Deoarece baza de cotare este identică cu baza de ghidare, nu se introduc erori de orientare $\varepsilon_0\,(d)$ pentru cota *d*, în timp ce pentru cota *c* se introduc erori de orientare $\varepsilon_0(c)$, deoarece baza de măsurare nu coincide cu baza de cotare. Se obține astfel:

$$\varepsilon_0\,(d) = 0 \quad \text{și} \quad \varepsilon_0(c\,) = T_a \tag{8.273}$$

în care T_a este toleranța de execuțuie a cotei *a*.

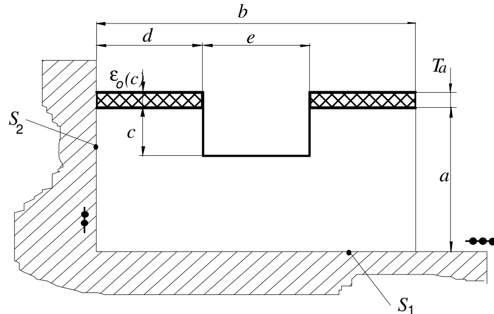


Fig. 8.246. Schemă pentru calculul erorilor de erorilor orientare.

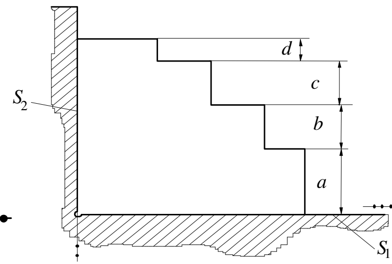


Fig. 8.247. Schemă pentru calculul de orientare.

În cazul executării cotei *d* din figura 8.247, deoarece baza de așezare nu coincide cu baza de cotare, eroarea de orientare $\varepsilon_0\,(d)$ se calculează cu relația:

$$\varepsilon_0\,(d) = \sqrt{T_a^2 + T_b^2 + T_c^2}\quad , \tag{8.274}$$

în care T_a; T_b; T_c , sunt toleranţele cotelor *a, b, c*, în timp ce eroarea de orientare pentru cota *a* este $\varepsilon_0(a) = 0$.

În situaţia când nu este posibilă coincidenţa bazelor de aşezare cu cele de măsurare, se calculează erorile de orientare şi se compară cu toleranţele impuse de desenul de execuţie.

Stabilirea bazelor de aşezare este direct legată de modul de cotare si implicit construcţia dispozitivelor de prelucrare şi mijloacelor de măsurare, precum şi succesiunea operaţiilor de prelucrare. De exemplu , realizarea cotei *a* din figura 8.248, se poate face folosind mai multe moduri de orientare: folosind suprafeţele S_1 şi S_2 sau S_3 şi S_4 sau combinaţii, deci mai multe tipuri de dispozitive de prelucrare. Cea mai corectă este însă combinaţia S_3 cu S_4 când eroarea de orientare a cotei *a* este $\varepsilon_0(a) = 0$.

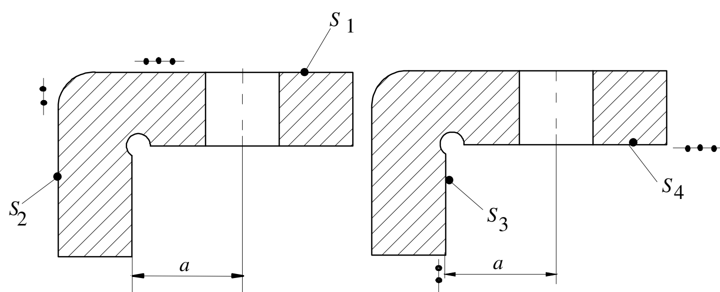


Fig. 8.248. Modul de alegere al bazelor de aşezare.

O tehnologicitate bună presupune un volum de muncă cât mai mic. Volumul de muncă este cu atât mai mare cu cât este mai mare numărul suprafeţelor supuse prelucrării, cu cât sunt mai complexe aceste suprafeţe, cu cât sunt mai mari dimensiunile şi cu cât sunt mai severe condiţiile de precizie şi de rugozitate. De aceea, la proiectarea constructivă a pieselor trebuie să se prevadă un număr cât mai mic posibil de suprafeţe prelucrate, iar acestea să aibă dimensiuni şi adaosuri de prelucrare minim admisibile;

c. Forma constructivă a piesei. Câteva forme constructive tehnologice şi netehnologice, cu justificarea necesară se prezintă în tabelul 8.6. Important de reţinut este faptul că cerinţele tehnologice care trebuie respectate la proiectarea formei, ilustrează necesitatea corelării construcţiei piesei cu tehnologia de prelucrare prin aşchiere.

d. Prescrierea toleranţelor şi rugozităţii de suprafaţă. Precizia şi rugozitatea suprafeţelor sunt legate direct de siguranţa în funcţionare, durabilitatea şi economicitatea fabricaţiei şi exploatării. Se analizează precizia dimensională, precizia de formă a suprafeţelor şi precizia de poziţie reciprocă dintre suprafeţele prelucrate.

La prescrierea toleranţelor se va ţine seama de posibilităţile reale de obţinere a acestora prin diferite metode de prelucrare. Cu cât toleranţele sunt mai

Tabelul 8.6. *Exemple de forme constructive tehnologice şi netehnologice pentru prelucrările prin aşchiere*

Nr. crt.	Forma netehnologică	Forma tehnologică	Justificare
0	1	2	3
1	Strunjire	Inel Ax	Axele prevăzute cu guler necesită un volum mare de prelucrare prin strunjire. Se poate folosi şi un inel de oprire sudat sau fretat pe ax.
2			Strunjirea precisă a găurilor înfundate lungi este costisitoare, de aceea se prevăd la fund cu o degajare scurtă.
3			Executarea şi reascuțirea cuțitelor profilate este mai ieftină dacă piesele care se prelucrează au forme simple, pe cât posibil numai suprafețe plane.
4			Strunjirea conică se execută mai uşor dacă cuțitul are o ,,scăpare".
5			În cazul găurilor perpendiculare pe axa geometrică a piesei cilindrice, dar care n-o intersectează , trebuie să se execute întâi un lamaj sau gaura trebuie prevăzută în poziție centrală.
6			Dacă ieşirea burghiului dintr-o gaură străpunsă se face într-o secțiune înclinată, se produce deplasarea burghiului. Ieşirea în secțiune plană înlătură dezavantajul.

Tabelul 8.6. (*continuare*)

0	1	2	3
7			Un canal de pană trebuie să se termine întotdeauna înainte de un umăr.
8			La executarea filetelor cu cuțitul se recomandă executarea unei degajări pentru scăparea sculei.
9			Executarea canelurilor interioare prin mortezare presupune existența unor degajări la fundul alezajului.
10			La blocurile de roți dințate trebuie să se execute mai întâi o degajare de scăpare a sculei de cel puțin 5 mm (a> 5 mm).
11	0,8	0,8	Să se proiecteze în așa fel forma constructivă, încât discul abraziv să poată avea acces liber la suprafețele ce trebuie rectificate.
12			Pentru a obține o dantură de mare precizie este necesară alegerea bazei de așezare în alezajul central, precis prelucrat, şi nu o flanşă, cu găuri şi umăr de centrare.
13			La executarea filetelor interioare trebuie prevăzută o degajare la fundul găurii pentru scăparea sculei.

mici, cu atât mai scumpă este prelucrarea şi volumul de muncă este mai mare (fig. 8.249).

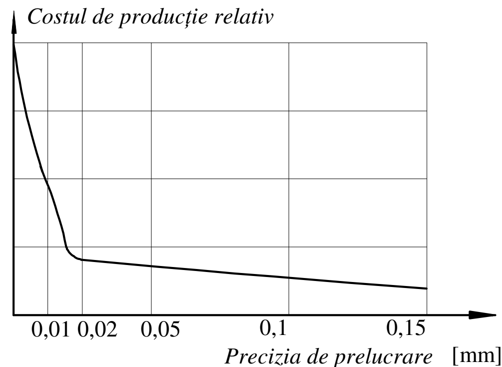


Fig.8.249. Variația costului prelucrării cu precizia de prelucrare.

Sunt întocmite tabele cu ajutorul cărora se poate determina fie precizia, care se poate obține printr-o metodă de lucru, fie operația tehnologică, prin care se realizează o anumită precizie la anumite dimensiuni (tab.8.7).

Relația dintre precizia de prelucrare, metoda de prelucrare şi dimensiunea prelucrată se prezintă în figura 8.250. Cîmpul de toleranță *T* se poate calcula cu relația:

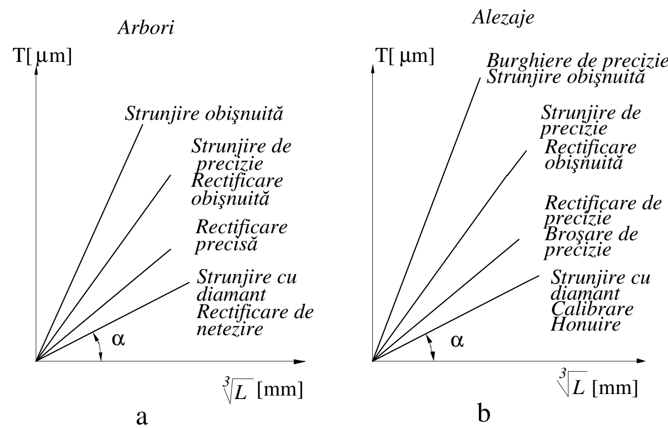


Fig. 8.250. Relația între metoda de prelucrare, dimensiunea prelucrată şi precizia de prelucrare.

$$T = \mathrm{tg}\alpha \cdot \sqrt[3]{L} \quad , \qquad (8.275)$$

în care α este unghiul de înclinare corespunzător lungimii de prelucrat *L*.

Tabelul 8.7. *Precizia economică pentru diferite metode de prelucrare*

Nr. crt.	Metode de prelucrare	Treapta de precizie STAS		Abateri pentru dimensiuni de 50...80 mm	
		Precizia economică medie	Limita de variație	Valori economice medii	Limite de variație
0	1	2	3	4	5
1	Strunjire-rabotare degroşare finisare netezire	 12 11 9	 11...12 10...11 8...10	 0,4 0,2 0,06	 0,20...0,80 0,12...0,20 0,03...0,12
2	Frezare degroşare finisare	 10 9	 10...12 8...11	 0,2 0,06	 0,12...0,14 0,03...0,20
3	Burghiere- lărgire	12	11...13	0,4	0,20...0,80
4	Alezare prealabilă finală	 9 7	 8...10 6... 8	 0,06 0,03	 0,05...0,12 0,01...0,05
5	Broşare finisare netezire	 8 7	 7...9 8...8	 0,05 0,03	 0,02...0,06 0,01...0,03
6	Rectificare degroşare finisare netezire	 10 7 6	 9...11 6...8 5...6	 0,12 0,02 0,01	 0,06...0,20 0,01 ...0,03 0,003...0,013
7	Honuire netedă foarte netedă	7 6	6...8 6...7	0,03 0,02	0,02...0,05 0,01...0,03
8	Rodare	5	5	0,01	0,002...0,013

Din punct de vedere al preciziei de prelucrare, suprafețele pieselor se pot împărți în patru grupe (vezi paragraful 1.2.33):

Rugozitatea suprafețelor funcționale, de asamblare şi de aşezare depinde, în mare măsură, şi de faptul dacă sunt în contact fix sau mobil cu alte suprafețe. Pentru suprafețele în contact fix se ia R_a = 1,6…6,3 μm, iar pentru cele în contact mobil se ia R_a = 0,8…0,05 μm. Rugozitatea determină volumul de muncă necesar prelucrării prin aşchiere, în sensul că, cu cât rugozitatea este mai mică, cu atât prelucrarea prin aşchiere necesită un volum mai mare de muncă.

e. Unificarea şi normalizarea pieselor componente ale construcției. O condiție importantă pentru creşterea tehnologicității construcției o constituie folosirea pieselor şi elementelor standardizate şi normalizate care asigură introducerea pe scară largă a mecanizări şi automatizării.

Aprecierea cantitativă a tehnologicității construcției, după gradul de unificare a pieselor şi subansamblelor *y*, se poate face pe baza raportului dintre numărul de piese sau elemente unificate *n* şi numărul total de piese sau elemente *N*, care se numeşte grad total de unificare:

$$y = \frac{n}{N} \quad . \qquad (8.276)$$

În mod analog tehnologicitatea unei piese se poate aprecia după gradul de unificare a diferitelor elemente constructive ale piesei (găuri, filete, diametre etc.). Se defineşte un coeficient total de unificare *U*, dat de relația:

$$U = \frac{u}{F} \quad , \qquad (8.277)$$

în care *u* este numărul de elemente unificate; *F* - numărul total de elemente.

8.16.2.2. Stabilirea succesiunii operațiilor

Numărul operațiilor şi fazelor tehnologice necesare realizării pieselor este în strânsă legătură cu condițiile tehnico-funcționale prescrise. Operațiile tehnologice după caracterul lor se grupează în: operații de *degroşare,* operații de *finisare* şi operații de *netezire*. Numărul variantelor unui proces tehnologic de prelucrare prin aşchiere este cu atât mai mare, cu cât numărul de suprafețe ce trebuie prelucrate este mai mare, acest număr *V*, determinându-se cu relația:

$$V = k \cdot ! \quad , \qquad (8.278)$$

în care *k* este numărul de suprafețe ce trebuie prelucrate.

Stabilirea succesiunii acestor operații se face ținând cont de următoarele principii:

- când piesa se realizează din mai multe operații, se recomandă ca la prima operație să se prelucreze suprafețele care vor servi ca baze tehnologice pentru operațiile următoare;
- operațiile sau fazele la care se pot depista defecte din semifabricare, se recomandă să se facă la începutul prelucrării;
- dacă baza de cotare (măsurare) nu coincide cu baza de aşezare, este necesar ca în operația următoare să se prelucreze baza de măsurare;
- mai întâi se realizează degroşarea, apoi semifinisarea şi finisarea;
- dacă în timpul prelucrării piesei se modifică rigiditatea, se recomandă ca mai întâi să se execute operațiile care nu modifică prea mult rigiditatea sistemului;

- la piesele de revoluție se vor prelucra la început suprafețele cilindrice şi conice şi apoi cele frontale;

- în cazul pieselor cu mai multe dimensiuni tolerate se are în vedere ca ordinea operațiilor de prelucrare să fie inversă gradului de precizie;

- la executarea găurilor, canalelor de pană, canelurilor, filetelor, se recomandă a se efectua către sfârşitul procesului tehnologic, în scopul evitării deteriorării în timpul transportului;

- se recomandă ca între operațiile de degroşare şi de finisare să se lase un timp pentru dispariția eventualelor tensiuni apărute în procesul de semifabricare;

- se va alege o succesiune a operațiilor, astfel încât să se obțină un timp de bază minim;

- este indicat să se utilizeze cât mai puține baze tehnologice, pentru a se reduce numărul de prinderi – desprinderi şi a reduce erorile de poziționare.

Ținând cont de aceste recomandări, succesiunea optimă a operațiilor unui proces tehnologic bine întocmit este:

- prelucrarea suprafețelor care vor fi baze tehnologice;
- prelucrarea de degroşare a suprafețelor de asamblare;
- prelucrarea de degroşare a suprafețelor funcționale;
- prelucrarea de finisare a suprafețelor funcționale;
- prelucrarea de finisare a suprafețelor de asamblare;
- degroşarea şi finisarea suprafețelor auxiliare;
- tratamentul termic (dacă este necesar);
- operațiile de netezire a suprafețelor funcționale;
- operațiile de netezire a suprafețelor de asamblare;
- executarea operațiilor conexe (cântăriri, echilibrări)
- acoperiri de protecție (unde este cazul);
- controlul tehnic al calității.

După stabilirea succesiunii operațiilor şi fazelor, se stabilesc metodele de prelucrare şi numărul de operații şi faze necesare. Alegerea metodei de prelucrare se face având în vedere productivitatea maşinii-unelte, condițiile tehnice impuse piesei şi mărimea *coeficientului de precizie total* Δ_{tot} care trebuie realizat în urma prelucrării fiecărei suprafețe în parte, dat de relația:

$$\Delta_{tot} = \frac{T_{sf}}{T_p} \quad , \tag{8.279}$$

în care T_{sf} este toleranța semifabricatului, în μm; T_p - toleranța piesei, în μm.

Valoarea coeficientului de precizie total se poate obține prin combinarea diferitelor metode de prelucrare, pe diferite maşini-unelte:

$$\Delta_{tot} = \Delta_1 \cdot \Delta_2 \cdots \Delta_m \ , \tag{8.280}$$

în care *m* reprezintă numărul de operații necesare realizării suprafeței la precizia şi

gradul de netezire cerut.

Deci, pentru determinarea metodelor de prelucrare se procedează astfel:

- se determină coeficientul de precizie total cu relatia (8.280);
- se optează pentru unul din procedeele care asigură rugozitatea impusă;
- se calculează coeficientul de precizie al fazei respective Δ_i şi se compară cu Δ_{tot} . Dacă $\Delta_i < \Delta_{tot}$, se caută altă metodă de prelucrare, până când se obține o valoare mai mare sau egală cu cea calculată cu relatia (8.279).

De exemplu, pentru obținerea piesei din figura 8.251, se alege un semifabricat bară laminată ∅45 (din STAS 333-71 rezultă $\varnothing 45^{+0,5}_{-0,7}$ mm).

Suprafața S_1 rămâne neprelucrată, dar pentru obținerea suprafeței S_2 pot fi folosite diferite procedee de prelucrare.

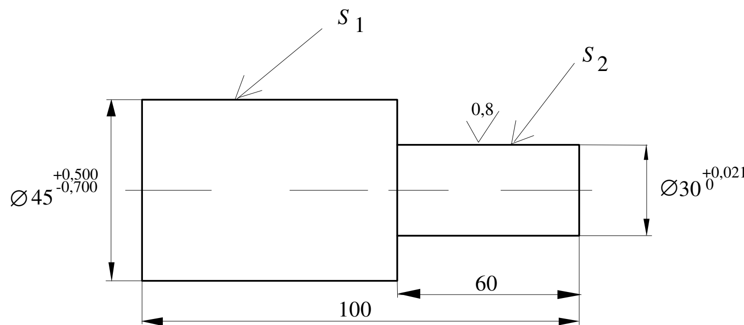


Fig. 8.251. Exemplu de stabilire a procedeelor de prelucrare.

Pentru determinarea metodelor de prelucrare se calculează coeficientul de precizie total, Δ_{tot}:

$$\Delta_{tot} = \frac{T_{sf}}{T_p} = \frac{1200}{21} = 52,7 \quad . \tag{8.281}$$

Din tabelul 8.8, se constată că rugozitatea impusă suprafeței R_a = 0,8 μm se poate obține prin mai multe procedee, dar ținând cont de forma piesei se pot lua în considerare doar strunjirea de netezire, rectificarea de finisare şi honuirea exterioară.

Cum operația finală este rectificarea de finisare, şi dacă se pune condiția ca din operația precedentă să nu rezulte o toleranță mai mare de 45 μm, se obține un coeficient de precizie Δ_1 dat de relația:

$$\Delta_1 = \frac{T_{rd}}{T_{rf}} = \frac{45}{21} = 2,14 \quad , \tag{8.282}$$

în care T_{rd} este toleranța la rectificarea de degroşare, precedentă operației de rectificare de finisare care realizează toleranțe T_{rf} . Deoarece $\Delta_1 < \Delta_{tot}$, trebuie să se

execute încă alte operații . Forma piesei permite executarea unei strunjiri de degroșare care asigură toleranța la diametru T_{sd} = 280 μm (din tabelul 8.8), deci coeficientul de precizie Δ_2, va fi:

$$\Delta_2 = \frac{T_{sf}}{T_{sd}} = \frac{1200}{280} = 4{,}27 \quad . \tag{8.283}$$

Deoarece până acum s-a realizat coeficientul de precizie $\Delta_1 \cdot \Delta_2 < \Delta_{tot}$, mai sunt necesare operații.

Tabelul 8.8. *Rugozitatea suprafețelor obținute prin diferite procedee tehnologice*

Denumirea procedeului	Caracterul	Rugozitatea suprefeței Ra [μm]												
		0,012	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50
Turnarea în amestec de formare												—	—	—
Turnarea încochilă									—	—	—	—	—	
Turnarea sub presiune							—	—	—	—	—			
Forjarea liberă									—	—	—	—	—	
Matrițarea									—	—				
Sablarea												—	—	—
Laminarea la cald											—	—	—	—
Tragerea la rece						—	—	—	—	—				
Extrudarea						—	—	—	—					
Tăierea	cu cuțit										—	—	—	—
	cu ferăstrău								—	—	—	—		
Strunjirea	de degroșare										—	—	—	—
	de finisare							—	—	—	—			
	netezire cu carburi					—	—	—	—					
	netezire cu diamant					—	—	—						
Rabotarea	de degroșare											—	—	—
	de finisare									—	—	—		
Burghierea	de degroșare											—	—	
	de finisare							—	—	—	—			
Alezarea	de degroșare							—	—	—				
	de finisare					—	—	—	—					
Broșarea	fină							—	—	—				
	foarte fină						—	—						
Frezarea cilindrică	de degroșare										—	—	—	—
	de finisare									—	—	—		
Frezarea frontală	de degroșare										—	—	—	—
	de semifinisare									—	—			
	de finisare								—	—				
Rectificarea	de degroșare									—	—			
	de finisare						—	—	—					
	de netezire			—	—	—								
Lepuirea	de degroșare						—							
	de semifinisare			—	—	—								
	de finisare	—	—	—										
Honuirea	de degroșare					—	—	—	—					
	de finisare		—	—	—									
Supranetezirea	preliminară				—	—								
	finală	—	—	—	—									

Dacă se execută o strunjire de finisare cu T_{sn} = 84 μm, se obține coeficientul de precizie Δ_3:

$$\Delta_3 = \frac{T_{sd}}{T_{sn}} = \frac{280}{84} = 3{,}33 \quad . \tag{8.284}$$

Cum s-a realizat un coeficient de precizie $\Delta_1 \cdot \Delta_2 \cdot \Delta_3 < \Delta_{tot}$, se mai alege o rectificare de degroşare cu T_{rd} = 45 μm, care realizează un Δ_4:

$$\Delta_4 = \frac{T_{sn}}{T_{rd}} = 1{,}9 \quad . \tag{8.285}$$

Coeficientul de precizie obținut este Δ_{tot} dat de relația:

$$\Delta_{tot} = \Delta_1 \cdot \Delta_2 \cdot \Delta_3 \cdot \Delta_4 = \frac{T_{sf}}{T_{sd}} \cdot \frac{T_{sd}}{T_{sn}} \cdot \frac{T_{sn}}{T_{rd}} \cdot \frac{T_{rd}}{T_{rf}} = 52{,}7 \quad , \tag{8.286}$$

obținut în urma a patru operații: strunjire de degroşare, stunjire de finisare, rectificare de degroşare, rectificare de finisare.

8.16.2.3. Principii de alegere a maşinilor-unelte

La alegerea maşinii-unelte trebuie avute în vedere în primul rând criteriile tehnologice.

După criteriile tehnologice, maşinile-unelte se clasifică în:

- *maşini-unelte de utilizare generală*, numite *maşini universale*;
- *maşini-unelte de înaltă productivitate*, caracterizate printr-o putere mare şi rigiditate bună ;
- *maşini-unelte specializate,* la care prin adaptarea anumitor dispozitive se pot efectua lucrări speciale;
- *maşini-unelte speciale,* la care se pot efectua numai lucrări specifice anumitor piese;
- *maşini-unelte agregate,* pe care se pot efectua diferite operații.

Alegerea tipului şi dimensiunii maşinii-unelte se face pe baza caracteristicilor producției şi a semifabricatelor care urmează a fi prelucrate.

La o producție de serie mică sau unicate se aleg maşini-unelte universale, pe ele executându-se mai multe operații. La o producție de serie mare sau de masă, unde fiecare maşină execută o singură operație, se alege o maşină de înaltă productivitate.

Pentru alegerea tipului şi dimensiunii maşinii-unelte trebuie luați în considerare următorii factori:

- felul prelucrării ce trebuie efectuată (strunjire, frezare, găurire, rectificare etc.);
- dimensiunile şi forma semifabricatului;

- precizia cerută la prelucrare;
- schema cinematică a maşinii-unelte, având în vedere regimul de aşchiere şi materialul de prelucrat;
- gradul de utilizare al maşini-unelte;
- costul maşinii-unelte;
- gradul necesar de concentrare a lucrărilor;
- productivitatea maşinii-unelte;
- gradul de mecanizare şi automatizare.

8.16.2.4. Controlul de calitate

În fiecare etapă a procesului tehnologic de realizare a produsului finit sunt necesare şi operaţii de control, de aceea pentru fiecare produs se întocmesc *proceduri tehnologice de control.* În aceste instrucţiuni se prezintă tehnologia operaţiilor de control cuprinzând: denumirea lor, mijlocul de control, locul de efectuare, felul controlului, ce procent din lotul de piese trebuie să se controleze, ce caracteristică se controlează. Pentru orice grupă de piese se fac trei mari categorii de control:

- *controlul materialului şi semifabricatului:* caracteristicile fizico-chimice ale materialului, dimensiunile semifabricatului etc.;

- *măsurători dimensionale şi de formă:* verificări în comparaţie ale cotelor obţinute după prelucrări, cu cele de pe desen, verificări ale preciziei formei şi poziţiei reciproce;

- *controlul însuşirilor piesei:* gradul de netezime şi starea suprafeţei, duritatea obţinută după tratamentul termic, grosimea stratului în cazul tratamentelor termochimice.

Pe baza procedurilor de control se elaborează *foaia de control pentru prelucrări mecanice.*

8.16.3. Dimensionarea proceselor tehnologice

După ce în prima etapă a proiectării procesului tehnologic s-a stabilit structura pe faze şi operaţii a acestuia şi echipamentul tehnologic necesar, se trece la *dimensionarea proceselor tehnologice* ce constă în: calculul tuturor parametrilor ce intervin în desfăşurarea proceselor de prelucrare; alegerea semifabricatului, adaosurile de prelucrare, regimurile de aşchiere, parametrii geometrici ai sculelor, normele tehnice de timp şi alţi parametri ce influenţează desfăşurarea proceselor.

În principiu, etapa dimensionării proceselor tehnologice de prelucrare se face la producţia de serie sau de masă, întrucât volumul de muncă necesar parcurgerii acestei etape este relativ mare.

8.16.3.1. Alegerea semifabricatului

În construcţia de maşini se folosesc toate tipurile de semifabricate

cunoscute: turnate, forjate liber, matrițate, laminate, extrudate, sudate, presate din pulberi, combinate etc. La alegerea semifabricatului pentru piesă se ține seama de următori factori: forma, dimensiunile şi greutatea piesei, destinația piesei, materialul şi condițiile de funcționare, volumul producției şi utilajul existent. Există două posibilități de alegere a semifabricatului:

- *semifabricat cât mai apropiat de piesa finită* ca formă, rugozitate, dimensiuni, calități fizico-mecanice etc. În acest caz, volumul de muncă cu prelucrările prin aşchiere este mult redus, consumul de metal şi de timp este mic, dar costul semifabricatului este mare (de cele mai multe ori este vorba de o piesă-semifabricat);
- *semifabricat cu grad de apropiere mic de piesa finită*. În acest caz se consumă un volum mare de muncă cu prelucrările prin aşchiere, consum mai mare de material şi de timp, dar costul semifabricatului este mult mai mic.

Criteriul hotărâtor pe baza căruia se alege semifabricatul este *criteriul economic.*

Costul unui semifabricat laminat P_l, inclusiv costul degroşării, se determină cu relația:

$$P_l = G_l P_{ml} + S \cdot N_t \left(1 + \frac{C}{100}\right) \text{ [lei]} , \qquad (8.287)$$

în care G_l este greutatea semifabricatului în kg; P_{ml} - costul unui kilogram de material laminat, în lei; S - salariul tarifar pe oră al muncitorului care execută degroşarea, în lei/oră; N_t - norma de timp pentru prelucrarea de degroşare, în ore; C - cheltuieli generale ale secției de prelucrări mecanice.

Costul unui semifabricat forjat liber P_{fl} ,inclusiv costul degroşării, este:

$$P_{fl} = G_0 \cdot P_{mf} + P_f \left(1 + \frac{C_f}{100}\right) + S \cdot N_{tf} \left(1 + \frac{C}{100}\right) \text{ [lei]} , \qquad (8.288)$$

în care G_0 este greutatea materialului inițial necesar pentru obținerea materialului forjat liber, în kg; P_{mf} - costul unui kilogram de material forjat liber; P_f - costul operațiilor de forjare, în lei; C_f - cheltuieli generale ale secției forjă; N_{tf} - norma de timp necesară pentru degroşarea semifabricatului forjat, în ore; C – cheltuieli generale ale secției de prelucrări mecanice.

Se alege semifabricatul forjat liber, dacă:

$$P_{fl} < P_l \ . \qquad (8.289)$$

Costul unui semifabricat matrițat P_m se calculează cu relația:

$$P_m = G_m \cdot P_{mo} + P_{mn} \left(1 + \frac{C_m}{100}\right) + \frac{P_{cm}}{n} + S \cdot N_{tm} \left(1 + \frac{C}{100}\right) \text{ [lei]} , \qquad (8.290)$$

în care G_m este greutatea materialului inițial consumat pentru obținerea semifabri-

catului matrițat, în kg; P_{mn} - costul unui kilogram de material matrițat, în lei; P_{mo} costul operațiilor de matrițare, în lei; P_{cm} costul matriței, în lei; n - numărul de piese care se execută cu matrița; N_{tm} - norma de timp pentru prelucrarea de degroşare a semifabricatului matrițat, în ore; C – cheltuieli generale ale secției de prelucrări mecanice.

Condiția de folosire a semifabricatului matrițat este:

$$P_m < P_l ; \quad P_m < P_{fl} . \tag{8.291}$$

Costul unui semifabricat turnat P_t, se determină cu relația:

$$P_t = G_t \cdot P_{lic} + P_{tl}\left(1 + \frac{C_t}{100}\right) + \frac{P_{mod}}{n} + S \cdot N_{td}\left(1 + \frac{C}{100}\right) \text{ [lei]} , \tag{8.292}$$

în care G_t este greutatea materialului lichid consumat, în kg; P_{lic} - costul unui kg de metal lichid, în lei; P_{tl} - costul operațiilor de turnare, în lei; C_t - cheltuieli generale ale secției de turnătorie; P_{mod} - costul modelului, în lei; n – numărul de piese care se execută cu un model; N_{td} - norma de timp necesară degroşării semifabricatului turnat, în ore; C – cheltuieli generale ale secției de prelucrări mecanice.

Condiția de folosire economică a semifabricatului turnat este:

$$P_t < P_l; \quad P_t < Pf_l; \quad P_t < P_m . \tag{8.293}$$

Pentru alegerea semifabricatului se mai recomandă:

- piesele care nu sunt supuse la şocuri, nu sunt solicitate la întindere şi încovoiere, cu formă complexă, se execută din fontă cenuşie, prin turnare;
- piesele profilate, care lucrează în condiții grele şi suportă tensiuni mari, se execută din semifabricate turnate din oțel;
- piesele supuse unor sarcini mari, cu configurație relativ simplă,se execută din semifabricate forjate (producția de unicate, serie mică) sau matrițate (producția de serie mare şi mică);
- piesele de formă complexă din aliaje neferoase, se execută din semifabricate turnate;
- piesele cu dimensiuni relativ mici, care nu prezintă diferențe mari între dimensiunile transversale se execută din semifabricate laminate.

8.16.3.2. Stabilirea adaosurilor de prelucrare şi a dimensiunilor intermediare

Adaosul de prelucrare prin aşchiere este stratul de material care se îndepărtează de pe suprafața piesei sub formă de aşchii sau microaşchii.

Adaosul de prelucrare este:

- intermediar: diferența dintre dimensiunile obținute la două faze sau operații consecutive;

- total: stratul de material necesar pentru toate operațiile de prelucrare pe suprafața considerată, dat de diferența dintre dimensiunea semifabricatului și dimensiunea piesei finite.

Se calculează cu relația:

$$A_t = \sum_{i=1}^{n} A_i \ , \qquad (8.294)$$

în care n este numărul operațiilor sau fazelor de pe suprafața considerată; A_i - adaosuri de prelucrare intermediare.

La suprafețele de revoluție interioare sau exterioare adaosul de prelucrare se calculează cu relația (fig.8.252):

$$A_p = \frac{D_p - D_c}{2} \quad \text{și} \quad A_p = \frac{d_c - d_p}{2} \ , \qquad (8.295)$$

în care: D_p, d_p sunt diametrele la faza precedentă, în mm; $D_c; d_c$ - diametrele la faza curentă, în mm.

În general, adaosul de prelucrare se poate determina fie prin metoda experimental-statistică, fie prin calcul analitic. Prin metoda experimental-statistică

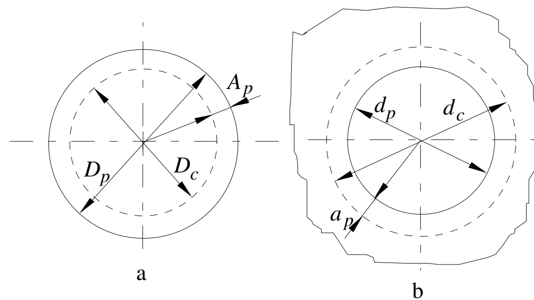


Fig. 8.252. Determinarea adaosului de prelucrare:
a - la arbori; b - la alezaje:
D_p; d_p - diametrele la faza precedentă;
D_c; d_c - diametrele la faza curentă.

adaosul de prelucrare se determină cu ajutorul unor tabele, normative, standarde etc. Calculul analitic al adaosului de prelucrare se bazează pe analiza factorilor care influențează și determină mărimea adaosului de prelucrare și anume:

- înălțimea medie a rugozității, R_z, de la faza precedenă;

- adâncimea stratului superficial defect, s_d, de la faza precedentă sau de la tipul semifabricatului (turnat, forjat, sudat etc.)

- abateri de la poziția reciprocă corectă a suprafeței prelucrate fața de suprafețele de orientare, ε_p;

- abateri provocate de așezarea semifabricatului, ε_0, în dispozitiv:

Ținând cont de aceste influențe, adaosul de prelucrare intermediar minim A_{im} se calculează cu relația:

$$A_{im} = (R_z + s_d) + \sqrt{\varepsilon_p^2 + \varepsilon_0^2} \quad . \qquad (8.296)$$

Cu ajutorul adaosurilor intermediare se pot determina dimensiunile intermediare pentru fiecare suprafață a piesei.

La prelucrarea unor suprafețe plane (fig. 8.253. a) se pot scrie relațiile:

$$A_{i\max} = L_{p\max} - L_{c\max}; A_{i\min} = L_{p\min} - L_{c\min} \quad , \qquad (8.297)$$

$$A_{i\max} = L_{p\min} + T_p - L_{c\min} - T_c = A_{i\min} + (T_p - T_c) \quad , \qquad (8.298)$$

în care T_p și T_c reprezintă toleranțele la dimensiune pentru faza precedentă și respectiv curentă.

La prelucrarea suprafețelor cilindrice exterioare (fig. 8.253. b), între dimensiunile intermediare și adaosurile intermediare se pot scrie relațiile:

$$2A_{i\min} = D_{p\min} - D_{c\min}; 2A_{i\max} = D_{p\max} - D_{c\max}, \qquad (8.299)$$

$$2A_{i\max} = D_{p\min} + T_p - D_{c\min} - T_c = 2A_{i\min} + T_p - T_c \, . \qquad (8.300)$$

La prelucrarea suprafețelor cilindrice interioare (fig. 8.253. c) se poate scrie:

$$2A_{i\min} = d_{c\min} - d_{p\min}; 2A_{i\max} = d_{c\max} - d_{p\max}, \qquad (8.301)$$

$$2A_{i\max} = 2A_{i\min} + T_p - T_c \, . \qquad (8.302)$$

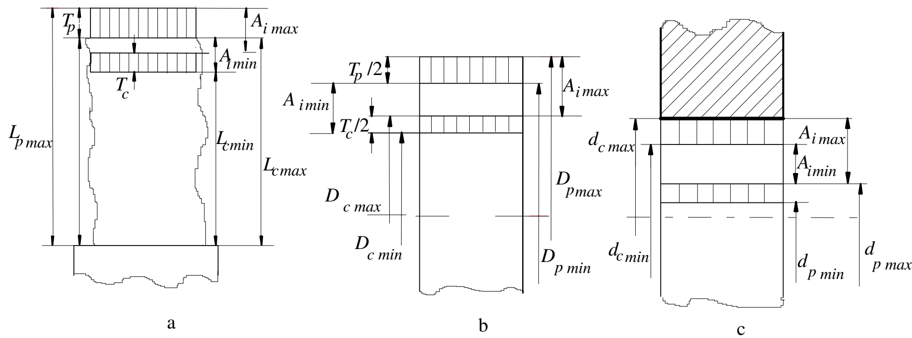


Fig. 8.253. Schema dispunerii adaosurilor şi dimensiunilor intermediare:
a – la prelucrarea unor suprafețe plane; b – la prelucrarea unor piese de tipul arborilor; c – la prelucrarea unor alezaje; T_p; T_c - toleranțele la dimensiune pentru faza precedentă, respectiv curentă; A_i - adaos de prelucrare intermediar; L_p; L_c - dimensiunile pentru faza precendentă, respectiv curentă; D_p;D_c - diametrul exterior pentru faza precedentă, respectiv curentă; d_p; d_c - diametrul interior pentru faza precedentă, respectiv curentă.

Determinarea dimensiunilor intermediare se face plecând de la dimensiunile date în desenul de execuție, în ordine inversă celei în care se execută operațiile de prelucrare pentru fiecare suprafață a piesei.

8.16.3.3. Determinarea regimului de aşchiere

Regimul de aşchiere influențează direct precizia şi calitatea suprafețelor prelucrate, costul şi productivitatea prelucrării.

Deoarece între parametrii regimului de aşchiere şi durabilitate există o legătură intrinsecă, se poate spune că durabilitatea tăişului sculei poate fi la rândul ei o *durabilitate economică* sau o *durabilitate optimă,* în funcție de scopul urmărit şi anume - un cost minim sau o productivitate maximă, de unde au apărut şi noțiunile de *regim economic de aşchiere* şi *regim optim de aşchiere.*

Etapele de calcul ale regimului de aşchiere se urmăresc în funcție de criteriul sau criteriile luate în considerare la optimizarea regimului de aşchiere. În majoritatea cazurilor se parcurg următoarele etape:

1. *Alegerea sculei aşchietoare şi definitivarea caracteristicilor maşinilor-unelte.* Scula se alege în funcție de natura prelucrării (strunjire exterioară, interioară, canelare, frezare, rectificare, broşare etc.). În funcție de natura şi proprietățile fizico-chimice ale materialului semifabricatului se alege materialul părții active a sculei, care poate fi: oțel rapid, oțel carbon de scule, oțel aliat de scule, carburi metalice şi mineralo-ceramice, materiale abrazive, diamante industriale etc. Parametrii geometrici ai sculelor aşchietoare se aleg din standarde sau din tabele.

2. *Stabilirea durabilității economice şi a uzurii maxim admisibile a sculei aşchietoare.* În cazul cel mai general, durabilitatea sculei se consideră ca o constantă şi se admite aprioric pentru a se calcula apoi viteza de aşchiere. În funcție de ceea ce se urmăreşte se calculează *durabilitatea economică* T_{ec} :

$$T_{ec} = \frac{1-m}{m}\left(\tau_s + \frac{S}{C_b}\right) \quad , \qquad (8.303)$$

$$T_{opt} = \frac{1-m}{m}\cdot\tau_s \quad , \qquad (8.304)$$

în care m este exponentul durabilității şi se determină cu relația m_i = tg·α_c (fig. 8.254), în funcție de natura materialului sculei, natura materialului semifabricatului; τ_s - timpul necesar pentru schimbarea sculei uzate şi reglarea sculei reascuțite, în minute; C_b - salariul muncitorului de la maşina-unealtă, în lei /min ; S - cheltuielile legate de exploatarea sculei, în lei.

Uzura maxim admisibilă a sculei aşchietoare se alege din tabele sau nomograme în funcție de materialul sculei, materialul semifabricatului, rugozitatea şi precizia dimensională prescrisă piesei.

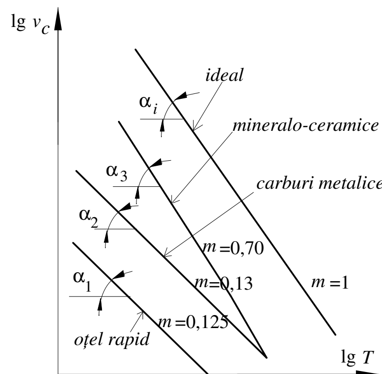


Fig. 8.254. Stabilirea valorilor exponentului m al durabilității:
T - durabilitatea sculei așchietoare; v_c - viteza de așchiere; α_1 ; α_2 ; …, α_i - valoarea unghiului α_c în cazul utilizării unor scule confecționate din diferite materiale.

3. *Stabilirea adâncimii de așchiere și a numărului de treceri.* Adâncimea de așchiere se alege ținând cont de condițiile de precizie și rugozitate impuse suprafeței, fiind limitată de capacitatea sistemului tehnologic. Dacă adaosul de prelucrare A_p este prea mare, adâncimea de așchiere a_p se calculează cu relația:

$$a_p = \frac{A_p}{i} \quad , \tag{8.305}$$

în care i este numărul de treceri.

Pentru creșterea productivității se recomandă la prelucrările de degroșare un număr de treceri minim, adâncime de așchiere maximă, în detrimentul avansului și vitezei de așchiere.

4. *Stabilirea avansului de așchiere.* Valoarea avansului de așchiere depinde de rezistența corpului sculei, eforturile admise de mecanismele de avans ale mașinii-unelte, momentul de torsiune admis de mecanismul mișcării principale, precizia prescrisă suprafeței prelucrate, calitatea suprafeței prelucrate, rigiditatea piesei, a dispozitivului și a mașinii-unelte. Pentru prelucrările de degroșare se recomandă ca avansul să fie cât mai mare, iar pentru prelucrările de finisare să fie cât mai mic, în concordanță cu adâncimea de așchiere.

5. *Stabilirea vitezei de așchiere.* Viteza de așchiere depinde de adâncimea de așchiere a_p, avansul de așchiere f, materialul și geometria părții active a sculei, proprietățile fizico-mecanice ale materialelor de prelucrat, durabilitatea sculei, condițiile de desfășurare ale procesului de așchiere. Având durabilitatea economică T_{ec}, viteza de așchiere economică $v_{c,\,ec}$ se calculează cu relația:

$$v_{c,ec} = \frac{C_v}{T_{ec}^m \cdot t^{x_v} \cdot f^{y_v}} \cdot k \ \ \text{[m/min]} \tag{8.306}$$

unde:

$$k = k_T \cdot k_{vm} \cdot k_{St} \cdot k_c \cdot k_s \cdot k_\gamma \cdot k_x \cdot k_{xl} \cdot k_r \cdot k_{VB} \cdot k_g \cdot k_{\text{int}} \cdot k_{fr} \quad , \qquad (8.307)$$

în care C_v este o constantă ce depinde de caracteristicile materialului sculei şi al piesei care se prelucrează; x_v; y_v - exponenți determinați experimental; k_T - coeficient de corecție în funcție de durabilitatea sculei; k_{vm} - coeficient de corecție în funcție de prelucrabilitatea materialului; k_{st} - coeficient de corecție în funcție de starea materialului de prelucrat; k_c - coeficient de corecție în funcție de tipul materialului; k_s - coeficient de corecție în funcție de partea activă a sculei; $k_y; k_{xr}; k_{x'r}$ - coeficienți de corecție în funcție de geometria sculei; k_r - coeficienți de corecție în funcție de raza de la vârf a sculei ; k_{VB} - coeficient de corecție în funcție de uzura sculei; k_g - coeficient de corecție în funcție de secțiunea sculei; k_{fr} - coeficient de corecție pentru cazul folosirii lichidelor de răcire; k_{int} - coeficient de corecție pentru prelucrări interioare.

Având $v_{c,ec}$, se poate determina turația economică de aşchiere n_{ec} cu relația:

$$n_{ec} = \frac{1\,000 \cdot v_{c,ec}}{\pi \cdot D} \text{ [rot/min]} \quad , \qquad (8.308)$$

în care *D* este diametrul piesei care se prelucrează, în mm.

Se alege apoi turația reală de aşchiere n_r, ce poate fi realizată de lanțul cinematic principal şi se calculează viteza reală de aşchiere $v_{c,r}$, cu relația:

$$v_{c,r} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_r}{1000} \text{ [m/min]} \quad . \qquad (8.309)$$

Se calculează pierderea de viteză Δ_v şi se verifică variația vitezei:

$$\Delta_v = \frac{v_{c,r} - v_{c,ec}}{v_r} \cdot 100 \text{ [\%]} \quad . \qquad (8.310)$$

Se acceptă varianta pentru care $\Delta_v < 5\%$.

6. *Calculul forței de aşchiere şi a puterii necesare.* Forța de aşchiere este diferită pentru fiecare procedeu de prelucrare prin aşchiere şi în genereal se calculează în funcție de: adâncimea de aşchiere, avansul de lucru, viteza de aşchiere reală şi caracteristicile materialului care se prelucrează. Componenta principală a forței de aşchiere F_c se calculează cu o relație de forma:

$$F_c = C_{Fc} \cdot t^{xFc} \cdot v_c^{nFc} \cdot HB^{uFc} \text{ [daN]} \quad , \qquad (8.311)$$

în care C_{F_z} este un coeficient de corecție în funcție de materialul de prelucrat şi materialul sculei; *HB*- duritatea Brinell a materialului de prelucrat; $x_{Fc}; y_{Fc}; n_{Fc}; u_{Fc}$ - exponenți determinați experimental.

Puterea reală de aşchiere, P_r, se calculează cu relația:

$$P_r = \frac{F_c \cdot v_{c,r}}{6\,000 \cdot \eta} \ \text{[kW]} \ , \qquad (8.312)$$

în care η este randamentul maşinii - unelte, în medie 0,8…0,85.

8.16.3.4. Optimizarea regimului de aşchiere

După metode moderne, utilizând teoria programării matematice, se elimină arbitrariul în alegerea parametrilor regimului de aşchiere (v, a_p, f), considerând durabilitatea ca o mărime variabilă depinzând de un număr mare de factori şi se calculează în aşa fel încât să asigure fie un cost minim, fie o productivitate maximă.

Această metodă presupune un model matematic, care înglobează o funcție obiectiv (cost minim, productivitate maximă, beneficiu maxim, consum minim de energie etc.) şi mai multe relații restrictive, din a căror rezolvare simultană rezultă regimul de aşchiere optim (vezi paragraful 8.15).

8.16.3.5. Normarea tehnică

Pentru obținerea eficienței maxime, la proiectarea proceselor tehnologice trebuie să se urmărească realizarea de consumuri minime de timp, atât pentru fiecare operație în parte, cât mai ales pentru întregul proces tehnologic de fabricare a unei piese.

Norma tehnică de timp N_t este timpul necesar executării unei lucrări sau operații, de unul sau mai mulți muncitori, în anumite condiții tehnico-organizatorice.

Se calculează cu relația:

$$N_t = t_b + t_a + t_{dt} + t_{do} + t_{on} + \frac{t_{pi}}{n} \ , \qquad (8.313)$$

în care t_b este timpul de bază, în min; t_a - timpul auxiliar, în min; t_{dt} - timpul de deservire tehnică, în min; t_{do} - timpul de deservire organizatorică, în min; t_{on} - timpul de odihnă şi necesități fireşti, în min; t_{pi} - timpul de pregătire încheiere, în min/lot; n - lotul de piese care se prelucrează la aceeaşi maşină în mod continuu.

Toți aceşti timpi se calculează sau se iau din normative, în funcție de natura prelucrării şi de condițiile concrete de desfăşurare a procesului de prelucrare.

Întotdeauna se urmăreşte reducerea normei tehnice de timp. Pentru reducerea ei se acționează asupra elementelor componente luându-se următoarele măsuri: adoptarea unei geometrii corespunzătoare a sculei pentru reducerea lungimilor de intrare şi ieşire a sculei; intensificarea sau reducerea numărului de treceri; accelerarea curselor de mers în gol; prelucrarea simultană a mai multor suprafețe; reducerea timpului de înlocuire a sculelor uzate; obținerea automată a dimensiunilor; intensificarea regimului de aşchiere.

8.16.4. Analiza proceselor tehnologice

Procesele tehnologice de prelucrare prin aşchiere diferă după natura materialului şi semifabricatului ales, după numărul şi natura operațiilor, după conținutul şi modul de organizare, după parametrii regimului de aşchiere etc. Dintre toate variantele de proces tehnologic care se pot elabora pentru prelucrarea aceleiaşi piese, trebuie să se aleagă aceea care să asigure realizarea cu certitudine a piesei în condițiile tehnice impuse, la costul cel mai mic şi într-un timp cât mai scurt. Deci, alegerea celor mai bune variante de proces tehnologic se face cu ajutorul unor indici tehnico-economici care să caracterizeze economicitatea şi rentabilitatea variantelor comparate. Principalii indicatori tehnico-economici necesar a fi calculați sunt:

- *coeficientul timpului de bază,* η_b - reprezintă raportul dintre timpul de bază t_b şi timpul unitar t_u, adică:

$$\eta_b = \frac{t_b}{t_u} \quad . \tag{8.314}$$

Valori mari ale coeficientului demonstrează că operația a fost rațional proiectată, iar valorile mici indică cheltuieli mari de timp auxiliar;

- *coeficientul de continuitate în funcționarea maşinii,* η_c - reprezintă raportul dintre timpul de bază t_b şi timpul operativ, t_e, al operației sau procesului, adică:

$$\eta_c = \frac{t_b}{t_e} = \frac{t_b}{t_b + t_a} \quad , \tag{8.315}$$

în care t_a este timpul auxiliar necesar operației.

Acest coeficient caracterizează gradul de automatizare şi de perfecționare în structura procesului tehnologic;

- *coeficientul de utilizare a maşinii-unelte,* η_u - se calculează cu relația:

$$\eta_u = \frac{t_u \cdot N + t_{pi} \cdot n}{F} \quad , \tag{8.316}$$

în care t_u este timpul unitar pentru prelucrarea unei piese, în min; N -programul anual de producție, în bucăți; t_{pi} - timpul de pregătire-încheiere pentru un lot de piese, în min; n - numărul de loturi de piese care se execută într-un an pe maşina-unealtă; F - fondul anual de timp pentru funcționarea utilajului.

- *timpul pentru întreruperi tehnologice inevitabile,* t_{it} - caracterizează procesul tehnologic în flux şi se determină cu relația:

$$t_{it} = t_r \cdot n_{mn}(1 - \eta_u) \quad [\text{min}] \tag{8.317}$$

în care t_r este ritmul liniei tehnologice în flux; n_{mn} - numărul de maşini-unelte din linia în flux; η_u - coeficientul de încărcare (utilizare) al maşinilor-unelte;

- *coeficientul timpului de pregătire-încheiere,* η_{pi} - se determină cu relația:

$$\eta_{pi} = \frac{t_{pi}}{n \cdot t_u} \quad , \tag{8.318}$$

în care T_{pi} este timpul de pregătire-încheiere al operației, în min; n - numărul de piese din lot, în buc.

Valoarea coeficientului depinde de mărimea lotului de piese. Cu cât seria de fabricație este mai mare, cu atât mai mică va fi valoarea acestui coeficient;

- *coeficientul de utilizare al materialului,* η_m, se determină ca raport între greutatea piesei finite, G_{pf}, şi greutatea semifabricatului, G_s, cu relația:

$$\eta_m = \frac{G_{pf}}{G_s} \quad . \tag{8.319}$$

Acest coeficient caracterizează întregul proces de fabricație, inclusiv semifabricarea. Valoarea coeficientului arată dacă operația este rațională din punct de vedere al economiei de material.

- *productivitatea muncii* este un indice tehnico-economic care depinde de norma de producție pe schimb N_{sch} care se determină cu relația:

$$N_{sch} = \frac{t_{sch}}{N_t} \quad , \tag{8.320}$$

în care t_{sch} este durata schimbului de lucru, în min; N_t - norma de timp pe bucată, în min/buc.

- *costul fabricației* C este principalul indice de evaluare a gradului de economie fie pentru întregul proces tehnologic, fie pentru o operație separată. Costul de fabricație se calculează cu relația:

$$C = M + S + R \quad [\text{lei}] , \tag{8.321}$$

în care M reprezintă cheltuielile cu materialul; S - cheltuielile cu salariile muncitorilor; R - cheltuieli generale ale secției legate de organizarea producției (cheltuieli de regie).

Pentru a stabili economicitatea diferitelor variante de proces tehnologic se întocmesc grafice de variație a costului în raport cu numărul de piese care se prelucrează. În acest scop, cheltuielile care compun costul de fabricație se împart în două mari categorii:

- *cheltuielile constante F*, care se fac la început, pentru întregul lot de piese (cheltuieli pentru investiții, dispozitive, scule, mașini - unelte etc.);

- *cheltuielile variabile V*, care se fac la executarea fiecărei piese (retribuția muncitorilor direct productivi, costul materialului, cheltuieli legate de consumul de energie electrică etc.).

Deci, pentru executarea unui lot de piese de n bucăți, costul C este:

$$C = n \cdot V + F \quad . \tag{8.322}$$

Compararea costului la două variante de proces tehnologic PT_1 și PT_2 sau la trei variante PT_1 ,PT_2 și PT_3 se face grafic (vezi paragraful 1.2.2).

Din condiția $C_1 = C_2$, rezultă numărul de bucăți critic n_{cr}, pentru care costul ambelor variante este același:

$$C_1 = C_2 \Rightarrow n_{cr} = \frac{F_1 - F_2}{V_2 - V_1} \quad [\text{buc}] \quad . \tag{8.323}$$

Analiza proceselor tehnologice se face numai în cazul producției de serie mare sau de masă.

8.16.5. Întocmirea documentației tehnologice

După efectuarea tuturor calculelor și adoptarea variantei optime din punct de vedere tehnico-economic, pentru aceasta se elaborează documentația tehnologică. În funcție de tipul producției, documentația tehnologică se întocmește fie sub formă de fișe tehnologice, fie sub formă de plane de operații.

8.16.5.1. Fișa tehnologică

Fișa tehnologică este documentul care se întocmește în cazul producției de serie mică sau de unicate și la repararea utilajelor. Ea conține două categorii de informații generale și tehnico-organizatorice și informații la nivel de operație, fără a conține elemente descriptive la nivelul părților componente ale operației.

În fișa tehnologică se execută schița piesei cu dimensiunile finale, se face o enumerare a operațiilor, în conformitate cu traseul tehnologic stabilit, pentru fiecare operație precizându-se atelierul unde se execută, mașina sau locul de

muncă, dispozitivele, sculele şi verificatoarele necesare, eventuale indicaţii tehnologice speciale, date referitoare la normarea lucrărilor, categoria de încadrare tarifară a lucrărilor etc.

8.16.5.2. Planul de operaţii

Se întocmeşte pentru producţia de serie şi de masă acolo unde detalierea pe operaţii este rentabilă ca urmare a volumului mare de producţie.

Elementul principal al planului de operaţii îl constituie *operaţia,* fiecare operaţie fiind tratată separat, descompusă şi analizată în cele mai mici amănunte. În foaia de plan de operaţie sunt trecute date referitoare la denumirea piesei, natura operaţiei cu fazele şi trecerile necesare, aşezările şi poziţiile piesei în decursul prelucrării. Sunt cuprinse de asemenea date referitoare la maşina-unealtă pe care se execută prelucrarea precizându-se sculele, dispozitivele şi verificatoarele necesare fiecărei faze, lichidul de răcire-ungere, parametrii regimului de aşchiere (v, f, a_p, n, i). Se execută schiţa cu privire la aşezarea şi fixarea piesei pe maşină sau în dispozitiv, cu indicarea suprafeţelor care trebuie prelucrate prin îngroşarea liniilor care le delimitează. Se trece de asemenea toată structura normei tehnice de timp.

Totalitatea foilor de operaţii care se referă la prelucrarea aceleaşi piese, formează planul de operaţii.

8.17. TEHNOLOGIA DE PRELUCRARE A PIESELOR DIN CLASA „ARBORI”

8.17.1. Caracteristici constructive şi condiţii tehnice impuse

Piesele din clasa arbori pot fi împărţite după forma lor geometrică în patru grupe mari (fig. 8.255); arbori drepţi; arbori în trepte simetrice sau asimetrice; arbori cotiţi; arbori cu came.

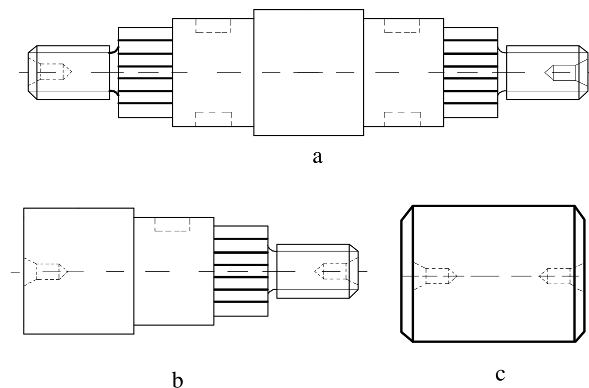


Fig. 8.255. Tipuri reprezentative de arbori:
a - în trepte simetrice; b - în trepte asimetrice; c - netezi.

Deşi domeniul de utilizare al arborilor este foarte mare, varietatea lor constructivă este diferită iar gama dimensională extrem de largă (diametre de 0,5…1 500 mm, lungime de 2…3 mm până la peste 10 m, mase de zecimi de gram până la peste 100 tone) condițiile tehnice de execuție sunt foarte asemănătoare, de aceea se vor prezenta în continuare etapele generale ale unui proces tehnologic de prelucrare a arborilor.

8.17.2. Alegerea materialului şi semifabricatelor pentru arbori

Pentru confecționarea arborilor se utilizează diferite categorii de materiale: oțeluri carbon sau aliate, fonte cu grafit nodular, aliaje neferoase, materiale nemetalice etc., alegerea materialului având la bază solicitările la care este supusă piesa în timpul funcționării şi condițiile tehnico-economice de fabricație. De obicei, alegerea materialului este indicat să se facă folosind metoda de analiză a valorilor optime (vezi paragraful 2.7).

Criteriile care stau la baza alegerii semifabricatelor pentru arbori sunt:

- *tipul de producție*: în producția de serie mare şi de masă şi pentru arborii care au o diferență până la 40…50 mm între diametrele treptelor se folosesc barele laminate. De asemenea, pentru arborii cu diametrul până la 150…200 mm în producție de serie mică şi unicate se folosesc tot barele laminate. Se folosesc de asemenea semifabricate forjate, matrițate şi chiar turnate (pentru arbori drepți de dimensiuni mari).

- *forma şi dimensiunile arborilor:* pentru arborii cu diferența între diametrele treptelor mai mare de 40…50 mm se folosesc semifabricate forjate, matrițate, turnate sau sudate. Pentru producția de serie mare şi de masă se folosesc semifabricate matrițate sau turnate. Pentru producția de serie mică şi unicate, în cazul arborilor grei se folosesc semifabricate forjate.

- *calitățile fizico-mecanice pe care trebuie să le aibă arborii în timpul exploatării:* pentru condiții deosebite de funcționare, solicitări puternice se folosesc semifabricate forjate sau matrițate.

8.17.3. Structura proceselor tehnologice de prelucrare a arborilor drepți

Procesul tehnologic tip de prelucrare a arborilor cuprinde mai multe etape distincte: *etapa operațiilor pregătitoare* (prelucrarea suprafețelor frontale de capăt, centruirea etc.), *prelucrarea mecanică prealabilă a suprafețelor principale* şi *a celor auxiliare* (canale de pană, caneluri, găuri transversale etc.), *tratamentul termic, finisarea suprafețelor principale* (funcționale şi de asamblare) şi *controlul final.*

De exemplu, structura unui proces tehnologic tip de prelucrare a unui arbore mijlociu, în trepte cuprinde următoarele operații:

8.17.3.1. Debitarea semifabricatului

Se face atunci când semifabricatul nu este forjat, matrițat sau turnat. Operația se execută pe presa - ghilotină (pentru bare cu diametrul $\leq$ 60 mm), cu ferăstrăul circular, cu disc abraziv, prin frezare, prin strunjire - în funcție de tipul producției şi dimensiunile de gabarit (fig. 8.256).

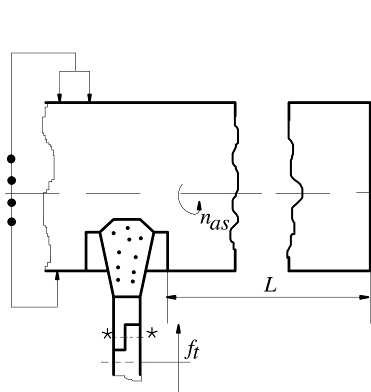


Fig. 8.256. Debitarea cu ferăstraie armate cu plăcuțe din carburi metalice: L - lungimea necesară; f_t – avansul transversal; $n_{aş}$ - turația.

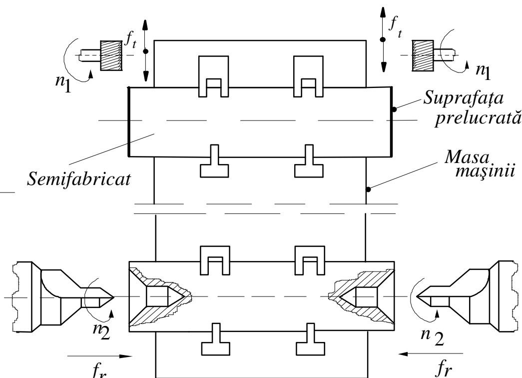


Fig. 8.257. Frezarea suprafețelor frontale şi centruirea (execuția găurilor de centrare): n_1; n_2 - turații de aşchiere; f_r ; f_t - avansuri de aşchiere.

De multe ori, după debitare se face un control nedistructiv – cu ultrasunete, cu pulberi magnetice, lichide penetrante sau radiații penetrante - pentru a se pune în evidența eventualele defecte de semifabricare.

8.17.3.2. Prelucrarea suprafețelor de capăt

Se face în vederea obținerii suprafețelor de bazare în direcție axială şi radială care să asigure precizia aşezării în cadrul operațiilor ulterioare. Prelucrarea suprafețelor frontale se poate face pe strunguri (arborii mijlocii şi mici în producția de serie mică şi unicate). Pentru producția de serie mare şi de masă se poate folosi frezarea simultană (fig.8.257) pe maşini speciale de frezat.

8.17.3.3. Execuția găurilor de centrare (centruirea)

Găurile de cercetare sunt, la majoritatea arborilor, bazele tehnologice pentru toate operațiile ulterioare de prelucrare, de aceea operația de centruire trebuie efectuată în anumite condiții: ambele găuri de centrare să aibă o axă comună de simetrie, să aibă o conicitate precisă, să poată prelua greutatea arborelui şi forțele de aşchiere. Operația se execută pe maşini speciale de centruit sau pe maşină specială de frezat şi centruit (fig. 8.257).

8.17.3.4. Prelucrarea de degroşare la unul din capetele arborelui

Se prelucrează toate treptele cu diametru crescător. În funcție de tipul producției şi dimensiunile de gabarit, operația se poate face prin strunjire pe strunguri normale, pe strunguri cu comandă program, pe strunguri revolver, pe strunguri automate, prin copiere, pe strunguri cu multicuțite (fig. 8.258), pe strunguri specializate, prin frezare cu joc de freze (fig. 8.259), prin broşare etc.

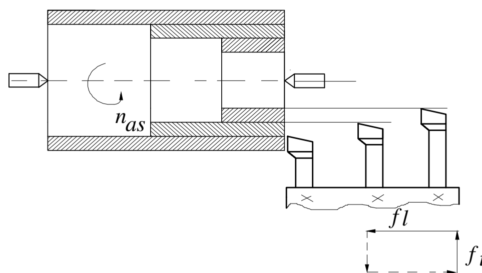


Fig. 8.258. Strunjirea cu multicuțite cu intrarea diferite succesivă în aşchie:
$n_{aş}$ - turația de aşchiere; f_l - avansul longitudinal; f_t - avansul transversal.

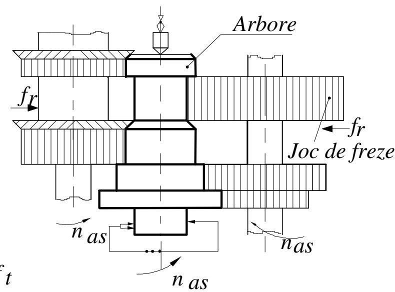


Fig. 8.259. Frezarea cu joc de freze pe o maşină specială:
$n_{aş}$ - turația de aşchiere; f_r - avansul radial.

8.17.3.5. Prelucrarea de degroşare la al doilea capăt al arborelui

Se face în mod analog ca operația de degroşare a primului capăt, folosind aceleaşi metode şi aceleaşi utilaje.

8.17.3.6. Prelucrarea de finisare a primului capăt al arborelui

Se face prin strunjirea de finisare pe strunguri normale, pe strunguri cu comandă program, strunguri automate sau prin broşare.

8.17.3.7. Prelucrarea de finisare a celui de-al doilea capăt al arborelui

Se face analog ca operația precedentă.

8.17.3.8. Prelucrarea canelurilor

Se face în majoritatea cazurilor prin frezare, pe maşina universală de frezat, folosind o freză-disc profilată, folosind şi capul divizor (fig. 8.260).

8.17.3.9. Prelucrarea canalelor de pană

Se face prin frezare, pe maşina universală de frezat, folosind ca scule aşchietoare freze de formă corespunzătoare tipului de canal de pană (pentru pană disc, pană plan-paralelă etc.).

8.17.3.10. Executarea filetelor

Se face pe strunguri normale în cazul producţiei de serie mică sau unicate, pe maşini semiautomate speciale de filetat sau pe strunguri prevăzute cu capete speciale de filetat „în vârtej”. Executarea filetului „în vârtej” este o metodă rapidă folosind un dispozitiv relativ simplu montat pe sania transversală a strungului. Cuţitele fixate în capul de filetat (fig. 8.261) care primeşte mişcarea de rotaţie de la un motor electric se rotesc cu o viteză v_f, dată de relaţia:

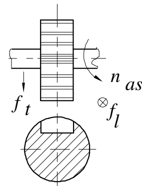


Fig. 8.260. Frezarea canelurilor: $n_{aş}$ - turaţia de aşchiere; f_t, f_l - avansul transversal şi respectiv longitudinal.

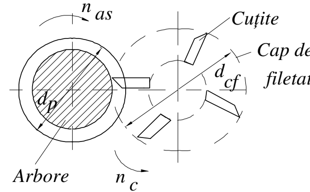


Fig. 8.261. Filetarea în vârtej: n; n_c - turaţia piesei şi respectiv a capului de filetat; d_p; d_{cf} - diametrul exterior al filetului şi respectiv al capului de filetat.

$$v_f = \frac{\pi \cdot d_{cf} \cdot n_c}{1000} \quad , \qquad (8.324)$$

în timp ce piesa execută o mişcare de avans circular cu viteza v_p:

$$v_p = \frac{\pi \cdot d_p \cdot n_{as}}{1000} \quad . \qquad (8.325)$$

8.17.3.11. Tratamentul termic

Urmăreşte fie îmbunătăţirea prelucrabilităţii, fie creşterea caracteristicilor funcţionale. Pentru îmbunătăţirea prelucrabilităţii se aplică tratamente termice de recoacere (de înmuiere, de globulizare a perlitei, de normalizare, de detensionare etc.). Pentru îmbunătăţirea caracteristicilor funcţionale se aplică: călirea superficială, îmbunătăţirea, cementarea, cianurarea, carbonitrurarea, iononitrurarea etc.

8.17.3.12. Sablarea

Se face cu jet de nisip prin aspiraţie, cu jet de nisip prin împuşcare sau jet de alice.

8.17.3.13. Îndreptarea

Se face pe prese de îndreptat şi numai când este cazul.

8.17.3.14. Rectificarea de degroșare la unul din capete

Se face la toate treptele cu diametru crescător, pe mașini speciale de rectificat cu două sau mai multe discuri și cu control activ al diametrelor. Operația se poate face cu avans longitudinal, cu avans transversal (fig. 8.262) sau cu piatră abrazivă profilată (fig. 8.263), în funcție de forma și dimensiunile de gabarit ale arborelui.

8.17.3.15. Rectificarea de degroșare la celălalt capăt al arborelui

Se face în mod analog ca operația anterioară.

8.17.3.16. Rectificarea canelurilor

Depinde de tipul de producție dacă se execută pe mașina de rectificat plan sau pe mașini speciale de rectificat caneluri. În funcție de modul de centrare se rectifică diametrul interior și flancurile (de regulă, într-o operație).

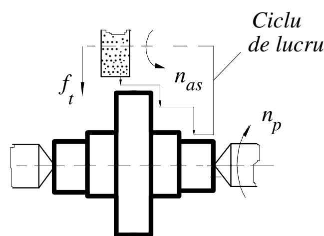


Fig. 8.262. Rectificarea cu avans transversal: $n_{aș}$; n_p - turația sculei și respectiv a piesei; f_t - avansul transversal.

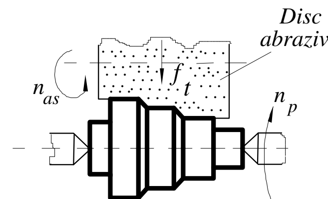


Fig. 8.263. Rectificarea cu disc abraziv: $n_{aș}$; n_p - turația sculei și respectiv a piesei; f_t - avansul transversal.

8.17.3.17. Rectificarea de finisare la unul din capetele arborelui

Se face în mod analog ca rectificarea de degroșare, alegându-se parametrii regimului de rectificare pentru finisarea suprefețelor. În acest sens mărimea avansului longitudinal nu va fi mai mare decât a treia parte din lățimea discului de rectificat. Avansul transversal trebuie să fie cât mai mic pentru a se obține o rugozitate R_a = 0,8…1,4 μm fără arsuri și precizie dimensională ridicată.

8.17.3.18. Rectificarea de finisare la celălalt capăt al arborelui

Se face în mod analog ca la operația precedentă. Se poate face și rectificarea electrochimică (în funcție de natura materialului de prelucrat).

8.17.3.19. Rectificarea filetelor

Se face pe mașini de rectificat filete, fie folosind disc profilat îngust (fig. 8.264), fie folosind un disc profilat lat (fig. 8.265). Parametrii regimului de

aşchiere sunt: viteza periferică a discului de rectificat (35…55 m/s); n_p - numărul de rotaţii al piesei, în rot/min; a_p - adâncimea de aşchiere, în mm; i - numărul de treceri. Adâncimea de aşchiere se ia de 0,02…0,05 mm la degroşare şi 0,003…0,010 mm la finisare. Filetul exterior poate fi executat şi prin rulare.

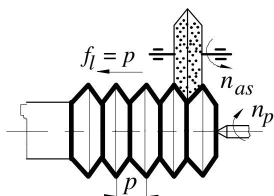


Fig. 8.264. Rectificarea filetului cu disc profilat îngust: $n_{aş}$; n_p - turaţia sculei şi respectiv a piesei; f_l - avansul longitudinal; p - pasul filetului.

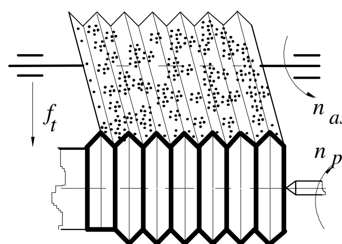


Fig. 8.265. Rectificarea filetului cu disc profilat lat: $n_{aş}$; n_p - turaţia sculei şi respectiv a piesei; f_t - avansul transversal.

8.17.3.20. Superfinisarea arborilor

Se aplică pe acele suprafeţe la care trebuie realizată o rugozitate $R_a <$ $<$ 0,4…0,8 μm şi o precizie dimensională foarte ridicată. Operaţia se face cu ajutorul unui dispozitiv numit cap de superfinisat (de honuit), format din 2…6 barete abrazive (fig. 8.266) Baretele abrazive sunt apăsate pe suprafaţa de prelucrat în timp ce aceasta execută o mişcare de rotaţie, iar capul de superfinisat o mişcare rectilinie-alternativă şi una de avans longitudinal.

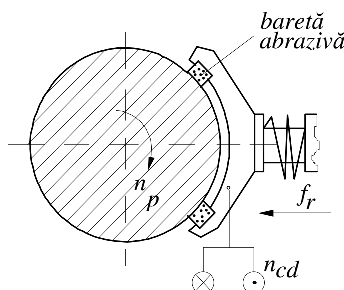


Fig. 8.266. Cap de superfinisat cu două barete o abrazive cu legătură elastică: n_p - turaţia piesei; f_r, - avansul radial; n_{cd} - frecvenţa mişcării rectilinii - alternative.

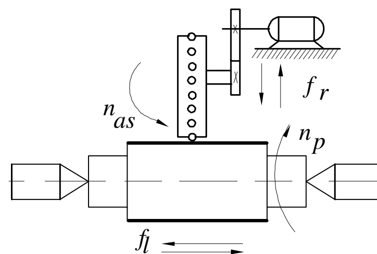


Fig. 8.267. Schema ecruisării unui arbore pe maşină de rectificat exterior: n_s ; n_p - turaţia sculei şi respectiv a piesei; f_l ; f_r - avansul longitudinal şi respectiv radial.

Pentru superfinisare se folosesc bare abrazive cu granulaţia 800…1 000, presiunea care se exercită asupra lor este de $(1,4…5,5)\cdot 10^5$ N/m^2, frecvenţa

mişcării rectilinii alternative este de 500….3 000 curse duble pe minut, avansul longitudinal este mai mic de 0,1 mm / rot. Superfinisarea se face în prezența unui lubrefiant format din 80…90% petrol şi 10… 20% ulei de turbină.

8.17.3.21. Finisarea prin ecruisare

Se foloseşte numai la anumite suprafețe care, pe lângă rugozitate mică şi precizie dimensională ridicată, necesită şi o mărire a durității suprafeței pe o anumită adâncime şi o mărire a rezistenței la oboseală. Operația se poate face cu ajutorul unor dispozitive speciale de ecruisat, montate pe arborele principal al maşinii de rectificat (fig. 8.267). Parametrii regimului de lucru la ecruisare sunt: viteza de rotație a bilelor, în m/s; viteza periferică a piesei care se ecruisează în m/min; avansul longitudinal, în mm/rot; mărimea cu care este respinsă bila, în mm; numărul de treceri.

Operația se face folosind şi capete de roluit cu ultrasunete.

8.17.3.22. Controlul final

Operațiile de control sunt plasate fie la începutul procesului tehnologic (se verifică calitatea materialului, se determină duritatea, reziliența, rezistența la tracțiune, compoziția chimică), fie pe parcursul desfăşurării procesului tehnologic de prelucrare.Operația se execută cu aparate şi instrumente de control universale sau aparate de control speciale.

8.17.4. Particularități ale prelucrării arborilor cotiți

Arborii cotiți se disting de ceilalți arbori prin faptul că o parte a tronsoanelor sunt excentrice, direcția excentricității fiind în general diferită de la un tronson la altul. Fusurile sunt prin urmare de două categorii: *fusuri paliere*, a căror axă este coliniară cu axa arborelui, şi *fusuri manetoane*, a căror axă este excentrică față de cea a arborelui.

În fabricația de serie mare sau de masă a arborilor cotiți de dimensiuni mici şi mijlocii, executați din oțel, semifabricatele se obțin prin matrițare pe prese sau ciocane matrițoare. La serii mici sau dimensiuni mari, semifabricatele se obțin prin forjare liberă.

Tehnologia tip de fabricație a arborilor cotiți cuprinde aceleaşi etape ca în cazul arborilor drepți: operații pregătitoare, prelucrarea prealabilă a suprafețelor principale şi auxiliare, tratamentul termic, finisarea şi controlul final - conținutul acestor etape are însă unele particularități, mai ales atunci când fabricația este de serie mare sau de masă.

Astfel, în afara găurilor de centrare a suprafețelor frontale de capăt, arborii cotiți mai au o suprafață de bazare, dispusă pe unul din brațele extreme şi destinată orientării unghiulare la prelucrarea brațelor şi fusurilor manetoane (fig. 8.268).

Suprafeţele fusurilor paliere şi manetoanele se prelucrează prin frezare sau prin strunjire pe maşini speciale.

Tratamentul termic aplicat este recoacerea de detensionare, în prima parte a procesului tehnologic sau după executarea principalelor degroşări, şi tratamente termice cu scop funcţional (cementare, nitrurare, călire superficială), aplicate înainte de operaţiile de finisare.

Fusurile, suprafeţele de antrenare şi alte suprafeţe ale arborilor cotiţi se supun unor operaţii de finisare prin rectificare, vibronetezire sau lepuire, pentru a se obţine treapta a şasea de precizie şi rugozitatea R_a < 0,4…0,8 μm. Rectificarea se face pe maşini speciale de rectificat, arborele cotit se aşează în aşa fel încât axa suprafeţei care se prelucrează să coincidă cu axa maşinii. Tot în această etapă se face echilibrarea arborelui cotit, pe maşini speciale de echilibrat.

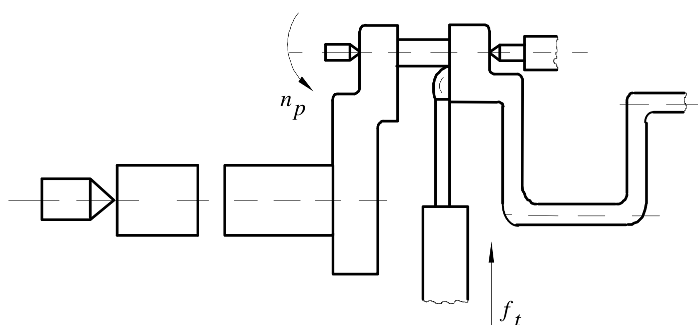


Fig. 8.268. Modul de prindere între vârfuri pentru prelucrarea fusurilor manetoane: n_p – turaţia piesei; f_t - avansul transversal.

8.17.5. Particularităţi ale prelucrării axelor cu came

Suprafeţele caracteristice şi în acelaşi timp principale sunt camele, dispuse în diverse zone de-a lungul axei, şi fusurile de sprijin, plasate intercalat. Condiţii tehnice impuse: precizia dimensională a fusurilor în treapta 6 de precizie, bătaia radială ≤ 0,015…0,04 mm., poziţia unghiulară a camelor să aibă abateri ≤ $1^0…2^0$, rugozitatea fusurilor şi camelor R_a ≤ 0,2…0,4 μm şi duritatea suprafeţelor de 54…62 HRC, conicitatea şi ovalitatea ≤ 0,01…0,02 mm.

Ca materiale utilizate pentru axele cu came sunt: oţelurile carbon de calitate OLC 45 AT şi fontele cu grafit nodular.

Ca semifabricate se folosesc în producţia de serie mare sau masă semifabricatele matriţate (confecţionate din oţel) şi turnate precis (pentru cele confecţionate din fontă).

Tehnologia de prelucrare a axelor cu came prezintă câteva particularităţi, dintre care cele mai importante privesc strunjirea camelor, tratamentul termic, rectificarea camelor şi controlul profilului acestora.

Strunjirea profilată a camelor se execută pe maşini specializate care asigură cuţitelor translaţia radială de copiere, corelată (printr-un sistem de copiere) cu

rotația semifabricatului.

Rectificarea camelor se execută pe maşini specializate care permit rotația ansamblului piesei (mişcarea de copiere), corelată cu rotația piesei, în timp ce scula execută un avans radial la degroşare şi un avans longitudinal de cursă, la finisare.

Fişa film a tehnologiei de obținere a unei piese din clasa arbori se prezintă în tabelul 8.9. Pentru exemplificare s-a presupus axul principal al unei prese mecanice (fig. 8.269) ce trebuie realizat într-o producție de 1 000 buc /an.

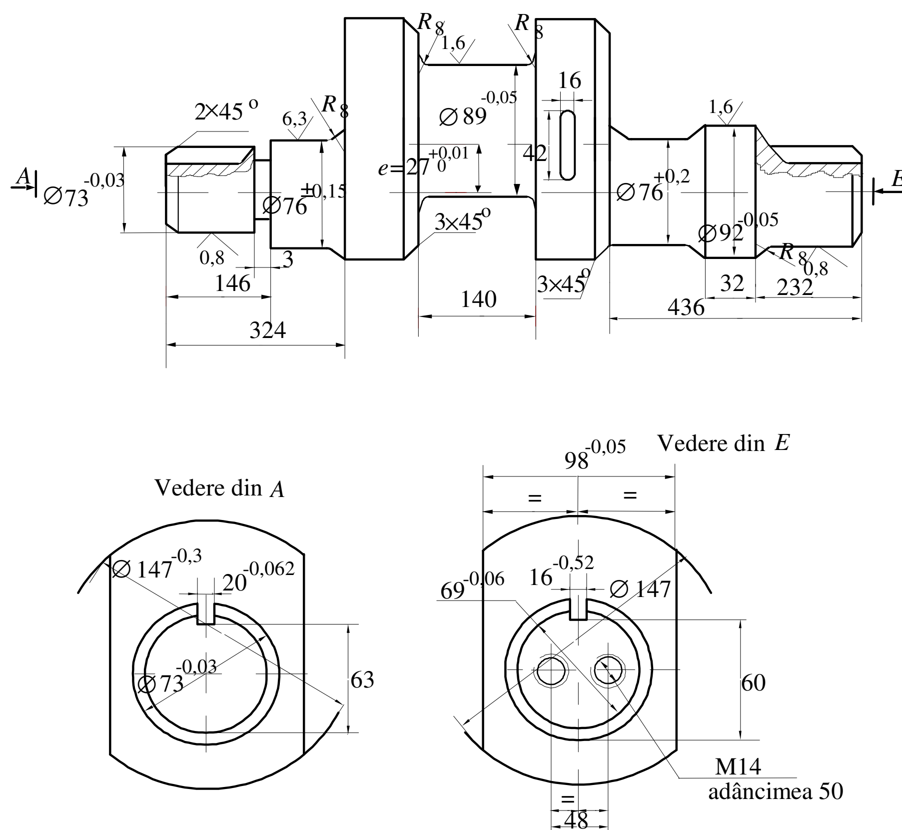


Fig. 8.269. Axul principal al presei mecanice.

Tabelul 8.9. *Procesul tehnologic de realizare a arborelui principal al unei prese mecanice*

Nr. crt.	Denumirea operației	Succesiunea fazelor	Schița operației	Scule folosite	Mașina unealta folosită	Regimul de așchiere				
						a_p	f	v_c	n	i
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Controlul semifabrica-tului matrițat	1. Se controlează defectele interne cu ultrasunete sau Rx 2. Se controlează toate dimensiunile	Fără schiță							
2	Frezarea suprafețelor frontale	a. Orientarea și fixarea semifabricatului	A1; 6,3; ⊥ 0,05 A1; ▱ 0,05; ⊥ 0,05 A1; 6,3; ▱ 0,05		Mașină de frezat vertical					
		1. Frezarea frontală a capătului din dreapta		Freză cilindro-frontală P20		2,0	150	70,37	280	1
		b. Desprinderea, întoarcerea, prinderea piesei								
		2. Frezarea frontală a capătului din stânga				2,0	150	70,37	280	1
		c. Desprinderea piesei								
3	Execuția găurilor de centrare	a. Orientarea și fixarea semifabricatului	A 2; A 1		Mașină de frezat universală FU 350					
		1. Execuția găurilor de centrare pe axa A_1		Burghiu de centrare A 3,15 STAS 1114/2 – 82 R_p5		4,9	0,04	16,96	675	1
		b. Desprinderea, întoarcerea, prinderea piesei								
		2. Execuția găurilor de centrare pe axa A_2				4,9	0,04	16,96	675	1
		c. Desprinderea piesei								

Tabelul 8.9. (*continuare*)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	Strunjirea de degroşare pe porţiunea din dreapta	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului	Ø 92-0,05; Ø 69 +0,03; 0,02; Ø76+0,15; 0,02 S; S; 32; 232; 436; 6,3		Strung normal SN 400×1500					
		1. Strunjirea de degroşare la Ø69×232		Cuţit P 20		3,2	0,68	82,3	380	1
		2. Strunjire de degroşare la Ø92×32		Cuţit P 20		3,2	0,68	88,1	305	1
		3. Strunjire de degroşare la Ø76×172		Cuţit P 20		3,2	0,68	90,7	380	1
		b. Desprinderea piesei								
5	Strunjirea de degroşare pe porţiunea din stânga	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului	Ø76; Ø 73; Ø 70; 0,02 S; S; 3; 146; 324; 6,3		Strung normal SN 400×1500					
		1. Strunjirea de degroşare la Ø76×324		Cuţit P 20		3,2	0,68	90,7	380	1
		2. Strunjire de degroşare la Ø73×146		Cuţit P 20		3,2	0,68	87,1	380	1
		3. Strunjire de degroşare la Ø70×3		Cuţit P 20		1,5	0,8	105,5	480	1
		b. Desprinderea piesei								
6	Teşire 2×45º	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului	2x45º; 2x45º		Strung normal SN 400×1500					
		1. Teşirea la 2×45º		Cuţit P 30		2,0	0,8	82,4	380	1
		2. Teşirea la 2×45º		Cuţit P 30		2,0	0,8	82,4	380	1
		b. Desprinderea piesei								

Tabelul 8.9. (*continuare*)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	Strunjirea de degroşare	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului	50 140 50 436; Ø147; Ø147; Ø89; 3×45°; 3×45°; 6,3		Strung normal SN 400×1500					
		1. Strunjirea de degroşare la ∅147×240		Cuţit P 20		3,7	0,88	85,4	185	1
		2. Strunjire de degroşare la ∅89×140		Cuţit P 20		3,2	0,68	85,4	305	1
		3. Teşirea la 3×45º		Cuţit încovoiat P 30		3	0,8	85,4	185	1
		b. Desprinderea piesei								
8	Strunjirea de finisare	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului	Ø73-0,03; Ø76±0,15; Ø76±0,2; Ø92-0,05; Ø69-0,03; S1; S2; 146; 324; 32; 232; 436; 3,2; 1,6; 0,8; 0,02; 0,02 S1		Strung normal SN 400×1500					
		1. Strunjirea de finisare la ∅69×232		Cuţit drept pentru finisat P20		0,55	0,12	104	480	1
		2. Strunjirea de finisare la ∅92×32		Cuţit drept pentru finisat P20		0,55	0,12	109,8	380	1
		3. Strunjirea de finisare la ∅76×172		Cuţit drept pentru finisat P20		0,55	0,12	114,6	480	1
		4. Strunjirea de finisare la ∅76×178		Cuţit drept pentru finisat P20		0,55	0,12	114,6	480	1
		5. Strunjirea de finisare la ∅73×146		Cuţit drept pentru finisat P20		0,55	0,12	1110	480	1
		b. Desprinderea piesei								

Tabelul 8.9. (*continuare*)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9	Strunjirea de finisare	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului	0,1; 0,1 S1; 0,02; 0,02 S2; 1,6; 1,6; ∅147-0,3; ∅89-0,15; S2; S1; 50; 140; 50; 436		Strung normal SN 400×1500					
		1. Strunjirea de finisare la ∅147×240		Cuţit drept pentru finisat P20		0,6	0,12	85,4	185	1
		2. Strunjirea de finisare la ∅89×140		Cuţit drept pentru finisat P20		0,6	0,12	85,3	305	1
		b. Desprinderea piesei								
10	Frezarea laterală	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului	6,3; ∅98-0,05; S1; 0,05; 0,05 S1		Maşină de frezat universală FU 350×1500					
		1. Frezarea pe latura din dreapta		Freză cilindro-frontală R_p3		2,75	96	100,53	160	1
		2. Frezarea pe latura din stânga		Freză cilindro-frontală R_p3		2,75	96	100,53	160	1
		b. Desprinderea piesei								
11	Frezarea canalului de pană	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului	220; 69-0,03; 232		Maşină de frezat universală FU 350×1500					
		1. Frezarea canalului de pană la 16×220		Freză pentru canelat cu coadă cilindrică R_p3		2	188	18,89	376	3
		b. Desprinderea piesei								

Tabelul 8.9. (*continuare*)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12	Frezarea canalului de pană	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului	= 42 = 16		Maşină de frezat universală FU 350×1500					
		1. Frezarea canalului de pană la 16×42		Freză pentru canelat cu coadă cilindrică R_p3		2	188	18,89	376	3
		b. Desprinderea piesei								
13	Frezarea canalului de pană	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului	140 67		Maşină de frezat universală FU 350×1500					
		1. Frezarea canalului de pană la 16×140		Freză pentru canelat cu coadă cilindrică R_p3		2	140	17,59	280	3
		b. Desprinderea piesei								
14	Găurirea	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului	∅12 55		Maşină de găurit cu braţ vertical					
		1. Găurirea la ∅12×55		Burghiu elicoidal scurt R_p3		6,0	0,20	14,3	375	1
		2. Găurirea la ∅12×55		Burghiu elicoidal scurt R_p3		6,0	0,20	14,3	375	1
		b. Desprinderea piesei								
15	Filetarea	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului	M14 50		Maşina de găurit					
		1. Filetarea M14×50		Tarod lung de maşină		1,0	2,0	2,63	67	1
		2. Filetarea M14×50		Tarod lung de maşină		1,0	2,0	2,63	67	1
		b. Desprinderea piesei								

Tabelul 8.9. (*continuare*)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
16	Rectificarea de degroșare	a. Orientarea și fixarea semifabricatului	Ø 73-0,03; Ø 92-0,05; Ø 69-0,03; 1,6; 146; 32; 232		Mașina de rectificat					
		1. Rectificarea de degroșare la Ø69×232		Piatră cilindrică		0,02	20	29,94 14,74	1900 68	10
		2. Rectificarea de degroșare la Ø92×32		Piatră cilindrică		0,02	20	29,94 15,59	1900 68	10
		3. Rectificarea de degroșare la Ø73×146		Piatră cilindrică		0,02	20	29,94 19,65	1900 68	10
		b. Desprinderea piesei								
17	Rectificarea de finisare	a. Orientarea și fixarea semifabricatului	Ø73-0,03; Ø 69-0,03; 0,8; 146; 146		Mașina de rectificat					
		1. Rectificarea de finisare la Ø69×146		Piatră cilindrică		0,01	12	29,94 14,74	1900 68	5
		2. Rectificarea de finisare la Ø73×146		Piatră cilindrică		0,01	12	29,94 15,59	1900 68	5
		b. Desprinderea piesei								
18	Rectificarea de degroșare	a. Orientarea și fixarea semifabricatului	Ø89-0,05; 1,6; 140		Mașina de rectificat					
		1. Rectificarea de degroșare la Ø89×140		Piatră cilindrică		0,02	20	29,94 14,74	1900 68	10
		b. Desprinderea piesei								
19	Controlul final	1. Se controlează toate dimensiunile	Fără schiță	Șubler, micrometru, rugozimetru						
		2. Se măsoară rugozitățile pe fusuri și pe maneton								

8.18. TEHNOLOGIA DE PRELUCRARE A PIESELOR DIN CLASA „BUCŞE”

8.18.1. Caracteristici constructive şi condiţii tehnice impuse

În funcţie de rolul pe care-l au în subansamblul din care fac parte, piesele din clasa bucşe trebuie să îndeplinească o serie de condiţii tehnice:

- diametrul suprafeţelor exterioare se prelucrează cu o precizie cuprinsă între clasa 3 şi clasa 2 de precizie;
- diametrul suprafeţei interioare se prelucrează cu o precizie cuprinsă între clasa 2 şi clasa 1 de precizie;
- abaterea de la concentricitatea suprafeţei interioare faţă de suprafaţa exterioară nu trebuie să fie mai mare de 0,03…0,15 mm;
- abaterea de la perpendicularitatea suprafeţei frontale faţă de axa de simetrie a suprafeţei interioare nu trebuie să fie mai mare de 0,2 mm la o rază de 100 mm;
- rugozitatea suprafeţei exterioare trebuie să fie $R_a \leq 3{,}2$ μm, iar a suprafeţei interioare trebuie să fie $R_a \leq 0{,}8 \ldots 3{,}2$ μm.

O problemă tehnologică specifică prelucrării bucşelor este aceea de asigurare a concentricităţii suprafeţei interioare faţă de suprafaţa exterioară, precum şi a perpendicularităţii suprafeţelor frontale pe axa de simetrie a suprafeţei interioare.

`Câteva tipuri constructive de bucşe se prezintă în figura 8.270.

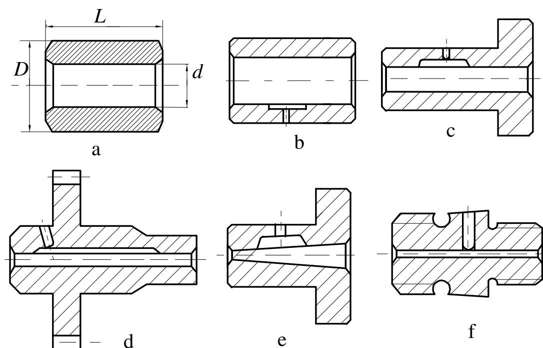


Fig. 8.270. Piese reprezentative din clasa „bucşe”: a- simple; b – cu orificiu de ungere; c – cu cap şi orificiu de ungere; d – cu flanşa şi orificiu de ungere; e – cu suprafaţa interioară conică; f – filetată pe exterior.

8.18.2. Alegerea materialelor şi semifabricatelor

Pentru bucşe cu diametrul interior ≤ 20 mm se folosesc bare laminate, trase sau extrudate confecţionate din oţel, cupru şi aliajele sale, aluminiu şi aliajele sale. Semifabricatele pot fi şi turnate sau forjate liber.

Pentru bucşe cu diametrul interior > 20 mm, semifabricatele folosite sunt țevi laminate sau semifabricate turnate sub presiune. Se mai folosesc şi semifabricate din mase plastice obținute prin presare sau injecție.

8.18.3. Structura procesului tehnologic de prelucrarea pieselor din clasa „bucşe”

Procesul tehnologic de prelucrare a pieselor din clasa ,,bucşe” depinde într-o măsură foarte mare de forma semifabricatului folosit (dacă este bară laminată, țeavă laminată sau bucşă turnată) şi de programa de producție.

Procesul tehnologic tipizat pentru prelucrarea unei bucşe din țeavă sau semifabricat turnat cu gaură cuprinde operațiile de mai jos.

8.18.3.1. Prelucrarea de degroşare şi de finisare a unui capăt al bucşei

Această operație cuprinde mai multe faze distincte, în funcție de tipul maşinii-unelte folosite:

- avansarea țevii (barei laminate) până la opritor sau fixarea semifabricatului în universal sau bucşă elastică;
- strunjirea suprafeței frontale şi executarea unei teşituri;
- executarea unei găuri de centrare pentru burghiere (atunci când semifabricatul este bară laminată);
- burghierea de degroşare a suprafeței interioare;
- strunjirea de degroşare a suprafeței exterioare;
- strunjirea de finisare a suprafeței interioare şi exterioare şi executarea teşiturilor;
- alezarea şi degroşarea găurii;
- alezarea de finisare a găurii;
- retezarea bucşei.

Operația se execută pe strungul revolver sau pe strunguri automate cu patru sau şase arbori.

De exemplu, prelucrarea bucşei din figura 8.271, pe strungul revolver, presupune mai multe faze dintre care unele se execută simultan.

Astfel, în faza I se face avansarea barei până la opritorul 1 şi strângerea ei. În faza a -II- a se execută o gaură de centrare cu un burghiu de centrare 2, iar în faza a-III-a se execută trei prelucrări: burghierea găuririi centrale cu burghiul 3, strunjirea de degroşare a suprafeței exterioare D_1 cu cuțitul 4 şi strunjirea de finisare a suprafeței exterioare D_2 cu cuțitul 5. În faza a-IV-a se execută strunjirea de finisare a suprafeței interioare d cu cuțitul 6 şi strunjirea de finisare a suprafeței exterioare D_1, cu cuțitul 7. În faza a-V-a se execută strunjirea suprafeței frontale a gulerului şi a canalului de scăpare cu cuțitul 8.

În faza a-VI-a se execută alezarea găurii interioare cu alezorul 9 şi teşirea muchiei interioare a gulerului cu cuțitul 10 fixat în suportul port-cuțit 11. În faza a

–VII - a se execută simultan următoarele operaţii: teşirea muchiilor suprafeţei frontale la exterior şi interior cu cuţitele 12 şi 13 fixate în capul revolver 14, începe retezarea cu cuţitul 15, fixat pe suportul port-cuţit 16, şi pe măsură ce se execută retezarea are loc şi teşirea muchiei exterioare a suprafeţei de capăt cu cuţitul 17.

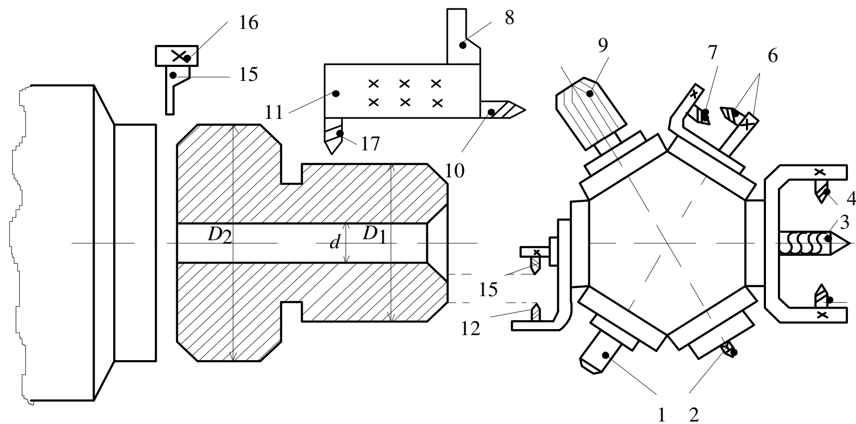


Fig. 8.271. Schemă de reglaj pentru prelucrarea unui lot de bucşe pe un strung revolver:
1 – opritor; 2 – burghiu de centrare; 3 – burghiu; 4 ;5 – cuţite de strunjire; 6 ;7 – cuţite de finisare;
8 – cuţit de degroşare; 9 – alezor; 10 – cutit de teşire; 11 – suport port-cuţit; 12;13 – cuţite de teşire;
14 – cap revolver; 15 – cuţit de retezare; 16 – suport portcutit; 17 –cuţit de teşire pentru exterior.

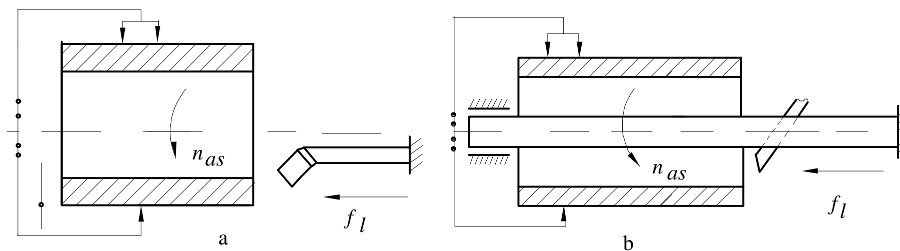


Fig. 8.272. Prelucrarea prin strunjire a suprafeţelor interioare:
a - scurte; b – lungi; $n_{aş}$ –rotaţia piesei; f_l – avansul longitudinal.

Prelucrarea suprafeţelor interioare ridică numeroase probleme legate de precizia de execuţie şi calitatea suprafeţei. De regulă, după prelucrarea prin burghiere sau cea de lărgire urmează prelucrarea prin strunjire interioară, care se poate face cu cuţitul de interior (fig. 8.272. a), pentru bucşe scurte sau cu bare de alezat (fig. 8.272. b), pentru bucşe lungi.

8.18.3.2. Executarea teşiturilor la exterior şi interior la cel de-al doilea capăt al bucşei

Operaţia se execută pe maşina de găurit verticală sau pe strunguri normale.

8.18.3.3. Executarea canalului de ungere longitudinal

Operația se execută pe maşini speciale cu scule speciale, în funcție de dimensiunile de gabarit ale bucşei şi de tipul producției.

8.18.3.4. Executarea găurii de ungere

Operația se execută pe maşina de găurit verticală cu burghie obişnuite.

8.18.3.5. Tratamentul termic

Se face în funcție de condițiile tehnice impuse suprafețelor interioare şi exterioare. De obicei se aplică tratamentul de călire superficială, cementare, nitrurare etc.

8.18.3.6. Rectificarea suprafeței frontale şi interioare

Operația se execută pe maşina de rectificat rotund interior folosind discuri abrazive adecvate şi avans transversal (fig. 8.273). În producția de serie mare sau de masă se folosesc maşini de rectificat interior folosind ciclu de lucru automat, cu sistem de control activ al dimensiunilor.

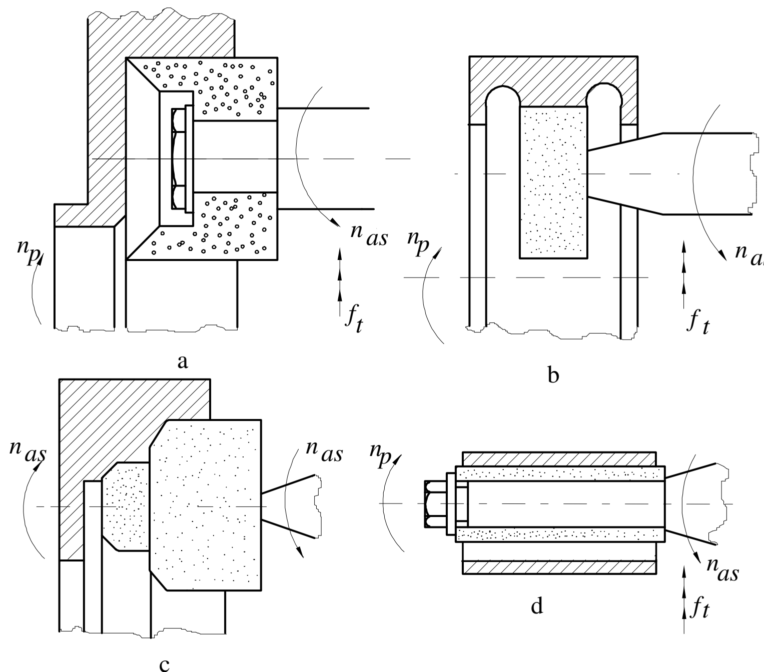


Fig. 8.273. Exemple de rectificare a suprafețelor interioare cu avans transversal:
a,b – suprafețe interioare simple; c – suprafete profilate; d – suprafețe de diametre mici.

Parametrii regimului de aşchiere sunt: viteza de aşchiere (viteza periferică a pietrei) care se alege în funcţie de natura materialului piesei având valori cuprinse între 8…35m/s; viteza de avans ce nu trebuie să depăşească 0,015 din viteza periferică a pietrei; diametrul pietrei de rectificat care trebuie să fie 3/4 din diametrul găurii ce se rectifică; avansul transversal în trepte de 0,02…0,05 mm.

Operaţia se poate face şi pe maşini de rectificat rotund interior fără centre (depinde de forma şi dimensiunile bucşei).

8.18.3.7. Rectificarea suprafeţei exterioare

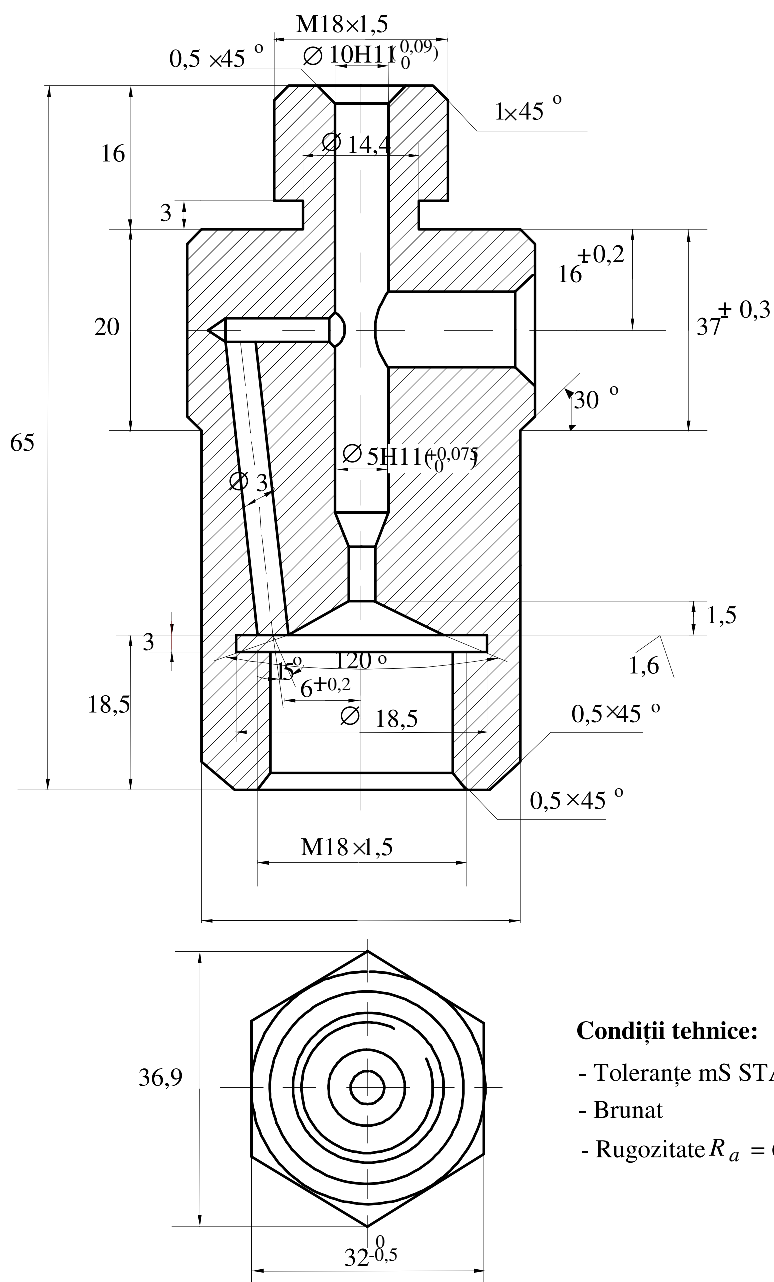
Operaţia se execută pe maşini de rectificat între vârfuri sau pe maşini de rectificat fără vârfuri, în funcţie de rigiditatea piesei şi configuraţia geometrică a suprafeţei exterioare.

8.18.3.8. Prelucrarea de superfinisare

Operaţia se execută pe maşini speciale de honuit cu capete de honuit. Capul de honuit este format din 4…6 bare abrazive fixate într-un dispozitiv special, care are posibilitatea deplasării radiale a barelor. Prin honuire se pot prelucra suprafeţe interioare cu diametrul 2,5…500 mm şi lungimi de până la 10 000 mm. Adaosul de prelucrare care se poate îndepărta prin honuire este de 0,02…0,04 mm pe diametru. Rugozitatea suprafeţei obţinute după honuire este R_a ≤ 0,025…0,4 µm.

Operaţia de superfinisare se poate face şi prin lepuire. Lepuirea se face cu ajutorul unor dornuri de lepuit (dorn din fontă rectificat la exterior având un diametru cu 0,01…0,02 mm mai mic decât diametrul găurii ce urmează a se lepui), fixate în universalul maşinii de lepuit. Pentru lepuire se foloseşte o pastă specială de lepuit, formată din seu şi o vaselină specială amestecată cu praf abraziv. Se obţine o rugozitate R_a ≤ 0,05…0,012 µm.

Fişa film a tehnologiei de obţinere a unei piese din clasa ,,bucşe" se prezintă în tabelul 8.10. Este vorba de un corp de supapă (fig. 8.274), într-o producţie anuală de 2 000 bucăţi.



Condiții tehnice:

- Toleranțe mS STAS 2300-88
- Brunat
- Rugozitate $R_a = 6{,}3\ \mu m$

Fig. 8.274. Corp supapă.

Tabelul 8.10. *Fişa film a procesului tehnologic de realizare a piesei- corp supapă – din clasa ,,bucse”*

Nr. crt.	Denumirea operației	Succesiunea fazelor	Schița operației	Scule folosite	Maşina unealta folosită	Regimul de aşchiere			
						a_p	n	v_c	f
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Debitarea la 65mm	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului			S.R.O. 40				
		1. Debitarea la *l* =65 mm		Cuțit R_p3 STAS 353-60		1	280	32,45	0,13
		b. Desprinderea piesei							
2	Strunjirea-găurirea la dimensiuni	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului			S.R.O. 40				
		1. Strunjirea de degroşare la ∅30		Cuțit R_p3		3,45	355	33,41	0,28
		2. Teşirea la 1,5×30º		Cuțit R_p3		0,35	280	26,12	0,09
		3. Găurirea la ∅16,5		Burghiu R_p3		8,25	355	18,40	0,20
		4. Găurirea la ∅4,8		Burghiu R_p3		2,4	900	13,57	0,125
		5. Strunjirea interioară la ∅18,5		Cuțit R_p3		1	710	41,24	0,09
		6. Teşirea la 0,5×45º		Cuțit R_p3		0,35	280	26,12	0,09
		b. Desprinderea piesei							
3	Filetarea	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului			S.R.O. 40				
		1. Filetarea M14×50		Cuțit de filetat R_p3		a_p = 0,13 a_p = 0,05	224	12,8	1,5
		b. Desprinderea piesei							

Tabelul 8.10. (*continuare*)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	Strunjirea-alezarea	a. Orientarea și fixarea semifabricatului	30°; 3; 0,5×45°; 1×45°; ∅32; ∅5H₆; ∅9,8; ∅14,4; ∅18; 16; 1,5×30°		S.R.O. 40				
		1. Strunjirea cilindrică de degroșare la ∅18		Cuțit R_p3		1,5	280	32,45	0,28
		2. Strunjirea de degroșare la ∅14,4		Cuțit R_p3		1,7	1400	79,16	0,09
		3. Teșire 1×45°		Cuțit R_p3		0,7	560	31,6	0,09
		4. Teșire 1,5×30°		Cuțit R_p3		1,0	140	16,22	0,125
		5. Strunjirea de degroșare la ∅32		Cuțit R_p3		1,45	355	33,41	0,28
		6. Strunjirea de degroșare la ∅9,8		Cuțit R_p3		1,2	2800	43,98	0,14
		7. Alezarea la ∅5H6($^{+0,075}$)		Alezor R_p3		0,07	560	8,79	0,20
		8. Teșire 0,5×45°		Cuțit R_p3		0,35	900	50,89	0,05
		b. Desprinderea piesei							
5	Filetarea M18×1,5	a. Orientarea și fixarea semifabricatului	M18×1,5; 13; 1,6		S.R.O. 40				
		1. Filetarea M18×1,5		Filieră R_p3		1,0	56	3,15	1,5
		b. Desprinderea piesei							

Tabelul 8.10. (*continuare*)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	Găurirea-alezarea	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului	Ø7; 1,5; Ø5H6; 12,5; 1,6		G25				
		1. Găurirea la Ø7		Burghiu R_p3		3	630	13,85	0,13
		2. Găurirea la Ø4,8		Burghiu R_p3		2,4	1800	27,14	0,1
		3. Teşirea la 1,5×45°		Burghiu R_p3		1,1	630	13,85	0,13
		4. Alezarea la Ø5H6		Alezor R_p3		0,1	630	9,81	0,13
		b. Desprinderea piesei							
7	Filetarea M8×1	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului	M 8×1; 12		Maşina de găurit				
		1. Filetarea M8×1		Tarod R_p3		0,5	112	2,8	1
		b. Desprinderea piesei							
8	Găurirea la Ø3	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului	$6^{\pm0,2}$; 15°; Ø3		G25 Dispozitiv de găurit				
		1. Găurirea la Ø3		Burghiu R_p3		1,5	2800	26,38	1,5
		b. Desprinderea piesei							

Tabelul 8.10. (*continuare*)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
9	Tratamentul termic	1. Se va trata termic la temperatura de 500-550ºC şi se va răci în apă							
		2. Se va bruna prin imersiune							
10	Rectificarea interioară	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului	∅10H6; 1,6; $37^{\pm 0,3}$		Maşină de rectificat				
		1. Rectificarea la ∅10H6		Piatră abrazivă profilată		0,0025	500	15,75 m/min	0,016
							1800	10m/s	1,0
		b. Desprinderea piesei							
11	Controlul tehnic de calitate	1. Se vor verifica toate dimensiunile şi concordanţa lor cu cele din desenul de execuţie							
		2. Se va controla rugozitatea suprafeţelor cu R_a = 1,6μm							

8.19. TEHNOLOGIA DE PRELUCRARE A PIESELOR DIN CLASA „CORPURI COMPLEXE”

8.19.1. Caracteristici constructive şi condiţii tehnice impuse

Din punct de vedere constructiv, forma geometrică şi dimensiunile pieselor incluse în această clasă sunt foarte diverse. Din punct de vedere funcţional aceste piese servesc la montarea pe ele a unor mecanisme sau subansamble ale maşinilor sau instalaţiilor îndeplinind rolul pieselor de bază din unităţile de asamblare. Din această clasă fac parte piese cu destinaţii foarte diferite: batiurile de maşini-unelte, carcasele cutiilor de viteze, carcasele de reductor, blocul cilindrilor de la motoarele cu ardere internă, corpurile de pompe, carterul cutiei de viteze şi carterul punţii din spate de la automobile, săniile şi mesele maşinilor-unelte, coloanele şi corpurile de dispozitive etc.

La toate aceste piese se întâlnesc trei mari grupe de suprafeţe care necesită prelucrări prin aşchiere:

- suprafeţe plane exterioare, orizontale, verticale sau înclinate (folosite frecvent ca baze tehnologice principale), al căror rol funcţional este de a asigura asamblarea cu alte piese ale produsului din care fac parte;
- suprafeţele alezajelor principale (alezaje pentru lagărele arborilor, cilindrii motoarelor cu ardere internă sau compresoarelor, alezajelor pompelor etc.);
- suprafeţele auxiliare, cilindrice, filetate sau nu, care se folosesc la asamblarea cu alte piese sau a altor piese între ele.

Condiţiile tehnice impuse pieselor din această clasă rezultă din necesitatea de a se asigura poziţia reciprocă a elementelor de maşini cu care se asamblează, în limitele toleranţelor impuse de rolul funcţional. De asemenea, trebuie să se asigure rezistenţa la coroziune şi uzură, rigiditatea, precizia dimensională şi de formă, rugozitatea suprafeţelor şi etanşeitatea cerute de destinaţia şi condiţiile de lucru ale piesei respective.

Pricipalele condiţii tehnice se referă la:

- precizia dimensională a alezajelor principale, care se recomandă a fi în treapta 6-7 de precizie;
- precizia distanţelor dintre suprafeţele plane paralele, care se impune a fi $\leq 0,05 \ldots 0,15$ mm;
- precizia distanţelor dintre axele alezajelor principale, care se recomandă a fi cuprinsă între $\pm$ 0,025 şi $\pm$ 0,3 mm;
- precizia coaxialităţii alezajelor principale, care se impune a fi jumătate din toleranţa diametrului mai mic;

- precizia de formă a alezajelor principale (se admite o ovalitate, conicitate, poligonalitate, de maximum 0,5…0,7 din toleranța la diametru);

- precizia de formă a suprafețelor plane (se admite o abatere de la rectilinitate de 0,05…0,2 mm pe întreaga lungime);

- rugozitatea pentru suprafețele plane de asamblare, care se recomandă a fi $R_a \leq$ 1,6…6,3 μm; cea a alezajelor principale de 0,8…1,6 μm, iar pentru suprafețe mai pretențioase (ca de exemplu, cilindrii motoarelor cu ardere internă sau hidraulice) $R_a \leq$ 0,2…0,4 μm;

- carcasele ce lucrează sub presiune se supun unei probe hidraulice pentru măsurarea etanşeităţii în două momente ale procesului tehnologic: după operațiile de degroşare şi după operațiile de finisare.

Una din problemele tehnologice importante care apare la prelucrarea pieselor din această clasă este *alegerea corectă a bazelor tehnologice,* alegere de care depinde în continuare îndeplinirea condițiilor tehnice enumerate mai sus. Bazele tehnologice trebuie alese, astfel încât baza de aşezare să se confunde cu baza de măsurare şi să se păstreze aceeaşi într-un număr cât mai mare posibil de operații. Pentru prelucrarea suprafețelor care vor servi drept baze tehnologice trebuie să se ia ca primă *bază de aşezare* unul din alejazele centrale sau anumite suprafețe special prevăzute pe semifabricate (bosaje).

Alegerea bazelor tehnologice trebuie însoțită de calculul erorii de bazare.

8.19.2. Alegerea materialelor şi semifabricatelor

Alegerea materialului se face ținând cont de cerințele constructiv-funcționale (rezistență mecanică, rezistență la coroziune, rezistență la oboseală etc.), de cerințele tehnologice (prelucrabilitate prin aşchiere, sudabilitate, turnabilitate etc.) şi de cerințele economice (preț de cost etc.).

În funcție de formă, dimensiuni de gabarit, rol funcțional şi tipul producției se folosesc materialele:

- fontă cenuşie şi fontă maleabilă: Fc 250, Fc 300, Fm350n, Fm 420a, Fm 450p, Fm 500p pentru carcasele cutiilor de viteze de la maşinile-unelte, blocurile cilindrilor şi chiulasele motoarelor cu ardere internă, carcasele pompelor, batiurile maşinilor-unelte etc.;

- oțel carbon turnat şi oțeluri aliate: OT 45-2; OT 50-2, OT 55-2, T50SiNiMoCr280; 20Crl30, 7TiCr170 pentru carcasele pompelor centrifuge, blocurile cilindrilor de la motoarele pneumatice şi hidraulice, carcasele care lucrează în medii corosive.

Semifabricatele folosite sunt turnate, sudate şi mai rar deformate sau chiar combinații dintre acestea. Stabilirea procesului de turnare sau de sudare depinde de materialul piesei, de forma şi gabaritul piesei,de precizia impusă şi de volumul producției.

8.19.3. Structura procesului tehnologic de prelucrare a pieselor din clasa „corpuri complexe"

Procesul tehnologic de prelucrare a pieselor din clasa „corpuri complexe" depinde în mare măsură de forma şi dimensiunile de gabarit ale semifabricatului, de cerinţele tehnice impuse şi de tipul producţiei.

Procesul tehnologic tipizat, în cazul cel mai general, pentru prelucrarea unei piese din clasa corpuri complexe cuprinde operaţiile de mai jos:

8.19.3.1. Prelucrarea de degroşare şi de finisare a suprafeţelor care vor servi drept baze tehnologice în operaţiile următoare

Se aleg viitoarele baze tehnologice şi se prelucrează pe maşini de rabotat sau de frezat (degroşarea) sau pe maşini de broşat şi rectificat (finisarea). Schema de aşezare tipică pentru prelucrarea unor astfel de piese foloseşte o suprafaţă plană şi două alezaje perpendiculare pe aceasta. Trebuie ca suprafaţa plană, viitoarea bază tehnologică, să se prelucreze dintr-o singură prindere (fig. 8.275) şi în operaţia de degroşare şi în operaţia de finisare.

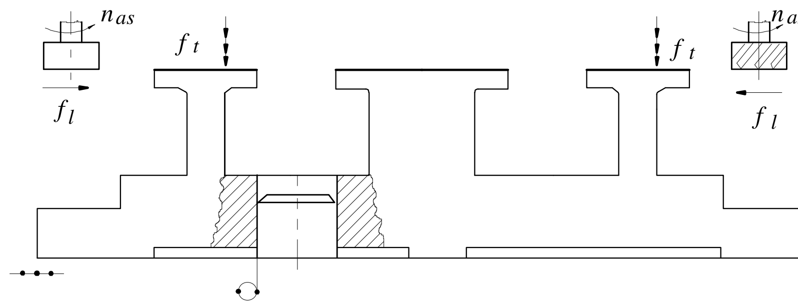


Fig. 8.275. Prelucrarea de degroşare şi finisare a viitoarei baze tehnologice: $n_{aş}$ - turaţia sculei; f_l ; f_t - avansul longitudinal şi respectiv transversal.

8.19.3.2. Prelucrarea găurilor tehnologice

Operaţia se execută pe maşina de găurit verticală sau cu braţ, cu cap multiax sau cu dispozitiv cu bucşe de conducere.

În producţia de serie mare şi de masă prelucrarea acestor alezaje se face pe maşini-unelte agregat, cu unul sau mai multe capete de găurit sau de alezat.

8.19.3.3. Prelucrarea celorlalte suprafeţe plane exterioare

Operaţia se execută pe maşini de rabotat cu mai multe capete de lucru (fig. 8.276), pe maşini de frezat portal cu mai multe capete de lucru (fig. 8.277), pe maşini agregat de frezat tip Carusel, pe maşini de broşat etc., alese în funcţie de configuraţia geometrică a suprafeţelor, dimensiunile de gabarit şi tipul producţiei.

8.19.3.4. Prelucrarea de degroşare şi finisare a alezajelor de bază

Alegerea procedeului de prelucrare la această operație depinde de mai mulți factori şi anume: forma, diametrul şi lungimea alezajului, dispunerea alezajelor (în pereții exteriori sau în pereții interiori), precizia şi rugozitatea suprafaței, forma, dimensiunile şi materialul piesei. Operația se execută pe maşini de găurit verticale sau cu braț, maşini de găurit şi alezat vertical, maşini de găurit şi alezat orizontale, agregate de găurit cu unul sau mai multe capete etc.

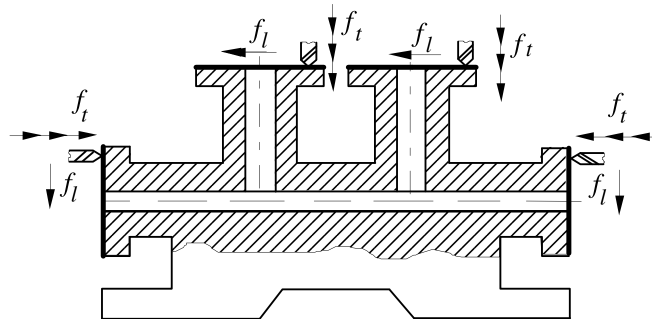


Fig. 8.276. Prelucrarea prin rabotare a suprafețelor plane exterioare: n_{cd} - mişcarea principală de aşchiere; f_l ; f_t - avansul longitudinal şi respectiv transversal.

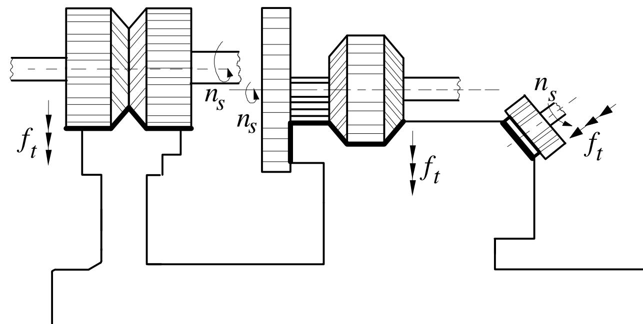


Fig. 8.277. Prelucrarea prin frezare cu jocuri de freze a suprafețelor plane exterioare: n_s - turaþia sculei; f_t - avansul transversal.

Pentru a răspunde cerințelor de coaxialitate, alezajele respective se prelucrează cu aceeaşi bară de alezat ghidată sau rezemată (fig.8.278). De lungimea în consolă a barei de alezat şi de parametrii regimului de aşchiere depinde precizia prelucrării.

Săgeata maximă y_{max} va fi la mijlocul dintre cele două reazeme şi va avea expresia:

$$y_{\max} = \frac{F_c \cdot l^3}{48EI} \quad , \tag{8.326}$$

în care F_c este componenta principală a forței de aşchiere; I -momentul de inerție față de axa barei de alezat; E -modulul de elasticitate; l - lungimea în consolă a

barei de alezat.

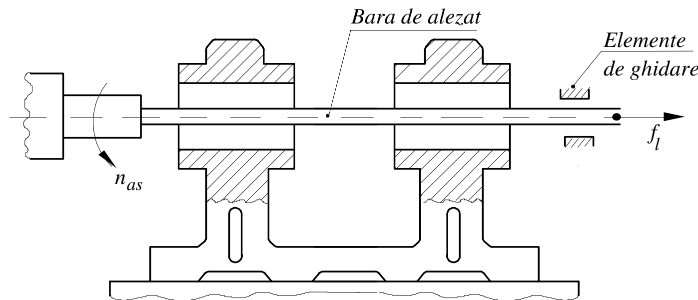


Fig. 8.278. Schema de alezare cu bară de alezat ghidată: $n_{aş}$ - turația barei de alezat; f_l - avansul longitudinal.

8.19.3.5. Tratamentul termic

Cel mai des folosit tratament termic, aplicat mai ales după operațiile de degroşare, este *detensionarea,* care poate fi *naturală* sau *artificială*. Este necesar acest tratament pentru a asigura redistribuirea tensiunilor interne apărute la turnare sau sudare şi în timpul procesului de aşchiere, precum şi pentru stabilizarea formei şi a dimensiunilor. Regimul termic de detensionare artificială depinde de dimensiunile, respectiv de greutatea pieselor, de forma geometrică şi de precizia cerută de proiectant. Detensionarea artificială constă în încălzirea piesei pînă la temperatura de 460…600^oC şi menținerea ei la această temperatură 4…12 ore, după care urmează răcirea o dată cu cuptorul, cu o viteză de 20^o C pe oră.

Detensionarea naturală se aplică numai pieselor pentru maşini şi aparate deosebit de precise. Durata detensionării naturale este de 6…24 luni.

8.19.3.6. Prelucrarea celorlalte găuri

Cele mai importante sunt găurile de fixare, care, de regulă, au diametre mici şi sunt dispuse pe grupe, cu condiții de poziționare reciprocă pentru fiecare grupă legată de pas, circumferința de dispunere, precum şi condiții de poziționare față de axele de simetrie, față de suprafețele plane de aşezare sau față de alte grupe de găuri.

Precizia necesară a găurilor se asigură, de obicei, prin prelucrarea în dispozitive cu bucşe de ghidare şi numai la producția individuală prelucrarea se face după trasaj.

Operația se poate face pe maşina de găurit verticală sau cu braț (producția de unicate, serie mică), maşina de găurit cu cap multiax universal sau dispozitiv cu plăci cu bucşe de ghidare (producție de serie) sau agregate de găurit cu unul sau mai multe capete de găurit (producția de masă).

8.19.3.7. Executarea filetelor în găurile de fixare

Operația se execută pe maşini de găurit verticale cu cap multiax sau pe

agregate de filetat cu capete multiax (producţia de masă). Filetele alezajelor se execută prin operaţia de tarodare. Tarodarea se execută cu un set de tarozi (de degroşare, de semifinisare şi de finisare).

8.19.3.8. Prelucrarea de finisare a suprafeţelor plane de bază şi a celor de îmbinare

Prelucrarea de finisare se poate face prin rabotare de finisare, frezare de finisare sau rectificare de finisare, în funcţie de dimensiunile de gabarit ale piesei de prelucrat, tipul producţiei şi calitatea suprafeţei ce se vrea obţinută.

Operaţia se poate executa pe maşini de rectificat verticale, maşini de frezat sau rabotat portal. Foarte larg răspândită este rectificarea pe maşini de rectificat cu mai multe capete de rectificat (fig. 8.279).

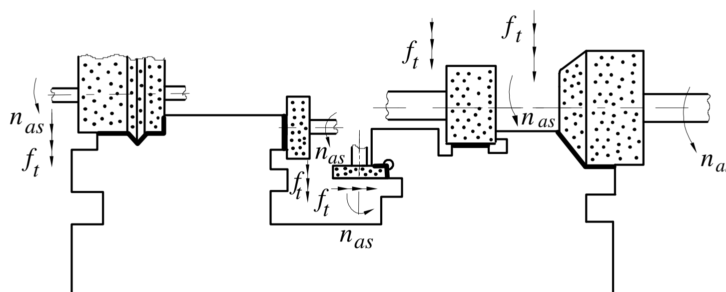


Fig. 8.279. Rectificarea suprafeţelor unei piese din clasa „corpuri complexe” : $n_{aş}$ - turaţia sculei; f_t - avansul transversal.

Regimul de aşchiere folosit este v = 20…30 m/s; viteza de avans transversal f_t = 3…10 m/min; adâncimea de aşchiere a_p = 0,02…0,5 mm/cd; adaosul de prelucrare A_p = 0,4…0,05 mm.

De obicei, pentru suprafeţele cele mai importante din punct de vedere al rolului funcţional se face o finisare prin *tuşare* sau *răzuire* prin care se poate asigura o planeitate sau rectilinitate pînă la 0,002 mm pe o lungime de 1 000 mm.

8.19.3.9. Controlul final

Operaţiile tipice de control sunt cele în care se măsoară dimensiunile alezajelor şi se verifică precizia poziţiei lor reciproce. Se mai verifică precizia de prelucrare a suprafeţelor plane: rectilinitatea şi planeitatea.

Operaţia se execută cu aparate speciale de controlat, cu dispozitive cu comparator, cu calibru, în funcţie de forma geometrică a suprafeţei de controlat.

Fişa film a unui proces tehnologic de obţinere a unei piese din clasa corpuri complexe se prezintă în tabelul 8.11. S-a ales pentru exemplificare carcasa unei pompe de ulei (fig. 8.280) ce trebuie realizată într-o programă de producţie de 11 000 buc./an. Pentru realizarea acestei piese sunt mai multe variante de proces tehnologic, în funcţie de programa de producţie: prelucrarea pe maşini-unelte clasice sau prelucrarea pe maşini-unelte cu comandă numerică.

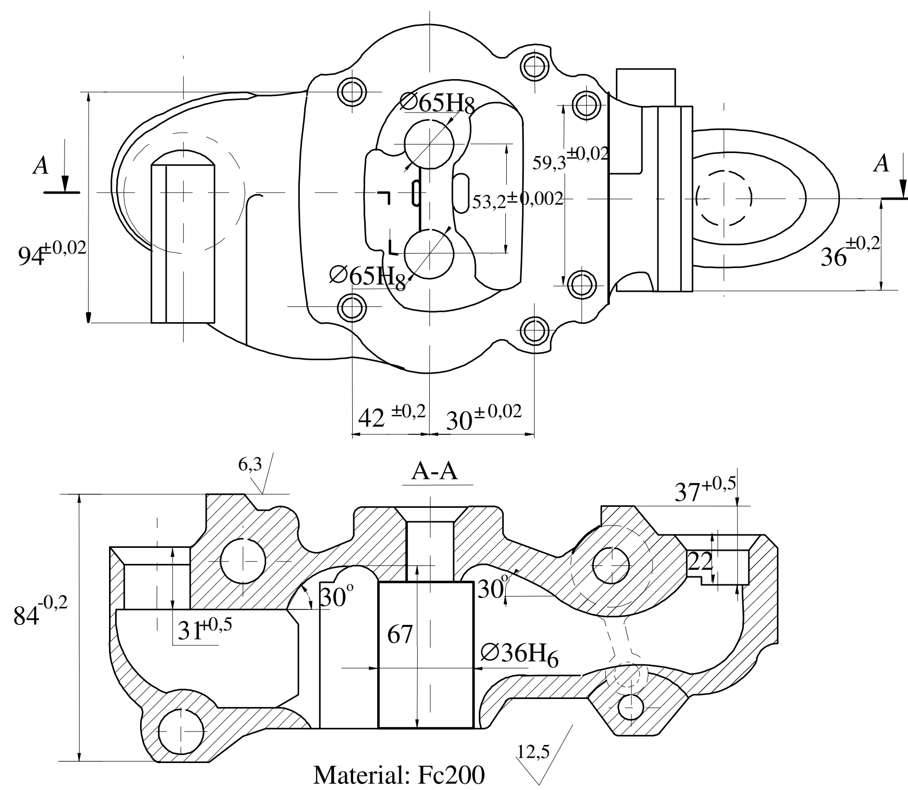


Fig. 8.280. Carcasa pompă ulei.

Tabelul 8.11. *Fişa film a procesului tehnologic de realizare a piesei - carcasă pompă de ulei - clasa ,,corpuri complexe”*

Nr. crt.	Denumirea operației	Succesiunea fazelor	Schița operației	Scule folosite	Maşina unealta folosită	Regimul de aşchiere				
						a_p	f	v_c	n	i
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Controlul şi recepția piesei turnate	Controlul conform desenului de execuție al piesei turnate. Piesă fără defecte, turnată îngrijit.		Vizual						
2	Frezarea de degroşare şi față locaş pinioane	a. Prinderea semifabricatului în dispozitiv 1. Frezarea de degroşare față şi locaş pinioane b. Desprinderea piesei	A A A-A $66,5^{\pm0,5}$ $67,5^{+0,5}$	Freza coromant 250	Maşină de frezat	5,5	145	113,82	0,025	3

Tabelul 8.11. (*continuare*)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	Frezarea bosajelor şi faţă locaş lagăre	a. Prinderea semifabricatului în dispozitiv 1. Frezarea bosajelor şi faţă locaş lagăre la cota $85_{0}^{+0,5}$ mm b. Desprinderea piesei	$85^{\pm 0,5}$	Freza coromant 250	Maşină de frezat verticală FV 2a	5,5	0,025	113,82	145	3
4	Strunjirea de degroşare şi locaş aspiraţie şi locaş refulare	a. Prinderea semifabricatului în dispozitiv 1. Strunjire frontală $\varnothing 65_{-0,5}^{+0,5}$ la cota 78^{+1} locaş aspiraţie. 2. Strunjire frontală $\varnothing 65_{-0,5}^{+0,5}$ la cota 78^{+1} locaş refulare. 3. Strunjire interioară locaş aspiraţie la $51_{-0,2}^{+0,2}$ pe adâncimea de $22_{-0,2}^{+0,2}$ mm. 4. Strunjire interioară locaş refulare la $46_{-0,2}^{+0,2}$ pe adâncimea de $22_{-0,2}^{+0,2}$ mm. b. Desprinderea piesei	$\varnothing 65 \pm 0,5$ $\varnothing 46 \pm 0,2$ $\varnothing 65 \pm 0,5$ $\varnothing 51 \pm 0,2$ $22 \pm 0,2$ 78^{+1} 78^{+1}	Cuţit R_p3 Cuţit R_p3 Cuţit R_p3 Cuţit R_p3	Maşină de frezat verticală FV 2a	3,5 3,5 3,5 3,5	0,4 0,4 0,4 0,4	37,7 37,7 36,69 45,19	205 205 205 290	2 2 2 2

Tabelul 8.11. (*continuare*)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	Ajustarea muchiilor tăietoare rămase la prelucrare.			Pilă lată						
6	Strunjirea de degroşare şi locaş pinioane	a. Prinderea semifabricatului în dispozitiv 1. Găurirea a două găuri la ∅30 mm. 2. Strunjirea de degroşare a două găuri la ∅33,5 mm. 3. Alezarea găurilor la ∅34H8. 4. Strunjirea a două locaşuri la $\varnothing 63^{+0,2}_{-0,2}$ pe adâncimea de $60^{0}_{-0,5}$ mm. b. Desprinderea piesei	∅63±0,2 ∅34H8 (+0,039) ∅34H8 $60^{0}_{-0,5}$	Burghiu ∅30 Cuţit R_p3 Alezor ∅34H8 Cuţit R_p3	Centru de prelucrare	15 1,75 0,25 3	0,47 0,40 0,31 0,20	15,54 42,03 10,42 18,99	165 400 96 96	1 1 1 2
7	Controlul intermediar	1. Controlarea diametrelor $\varnothing 46^{+0,2}$; $\varnothing 51^{+0,2}$; $\varnothing 63^{+0,2}$. 2. Controlarea alezajelor ∅34H8. 3. Controlarea cotei $60_{-0,5}$; 78^{+1}.								

Tabelul 8.11. (*continuare*)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8	Frezarea față bosaje inferioare	a. Prinderea semifabricatului în dispozitiv 1. Frezarea de degroșare față bosaje de prindere pe baie la cota $94{,}5^{+0,2}_{-0,2}$ mm. b. Desprinderea piesei	94,5 ±0,5	Freză coromant 250	FV2a	5,5	0,025	101	128	3
9	Ajustarea	1. Ajustarea bavurilor rămase la suprafața frezată 2. Ajustarea completă a suprafețelor neprelucrate		Pilă lată						
10	Controlul operației de frezare	1. Controlul cotei $67{,}5^{+0,5}$. 2. Controlul cotei $85^{+0,5}$. 3. Controlul cotei $94{,}5^{+0,5}_{-0.5}$		Șubler						
11	Tratament termic de detensionare	Încălzire două ore la 480-500ºC, menținerea și răcirea în cuptor			Cuptor electric					
12	Sablare	Se va sabla pe toate suprafețele cu alice								
13	Rectificare față locașuri pinioane	a. Prinderea semifabricatului în dispozitiv 1. Rectificare față locașuri pinioane la cota $84{,}5^{+0,1}_{-0,1}$ mm. b. Desprinderea piesei	84,5± 0,1	Piatră cilindrică plană	Mașina de rectificat plan	0,5	15	22	1680	20

Tabelul 8.11. (*continuare*)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
14	Rectificare față locașuri lagăre	a. Prinderea semifabricatului în dispozitiv 1. Rectificare față locaș lagăre la cota $84_{-0,2}$ mm. b. Desprinderea piesei	84 - 0,2	Piatră cilindrică plană	Mașina de rectificat plan	0,5	15	22	1680	20
15	Rectificarea feței de prindere	a. Prinderea semifabricatului în dispozitiv 1. Rectificarea feței de prindere la cota $92^{+0,2}_{-0,2}$ mm. b. Desprinderea piesei	94 ±0,02	Piatră cilindrică plană	Mașina de rectificat plan	0,5	15	22	1680	20
16	Controlul intermediar	Se verifică cota $92^{+0,2}_{-0,2}$ mm.		Ceas comparator						
17	Găurire-alezare	a. Prinderea semifabricatului în dispozitiv 1. Centruirea celor două găuri pe adâncimea de 5 mm. 2. Găurirea a două găuri cu ∅ 7,6 mm pe adâncimea de 12 mm. 3. Alezarea găurilor cu ∅8E7 pe adâncimea de 9 mm. b. Desprinderea piesei	∅ 8E7 ∅ 8E7 86 ±0,05 168 ±0,02	Burghiu combinat de centruit ∅6 mm	Centru de prelucrare	3,0 3,8 1,0	0,20 0,18 0,15	14,99 20,52 8,66	955 860 345	2 2 2

Tabelul 8.11. (*continuare*)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
18	Găurire, alezarea, filetarea	a. Prinderea semifabricatului în dispozitiv 1. Executarea a două găuri ∅7,6 mm pe adâncimea de 12 mm. 2. Alezarea a două găuri ∅8E7 pe adâncimea de 9 mm. 3. Executarea a patru găuri ∅8,5 mm pe adâncimea de 48 mm. 4. Lărgirea a patru găuri ∅11 mm pe adâncimea de 18 mm. 5. Filetarea a patru găuri M10 pe adâncimea de 38 mm. b. Desprinderea piesei	59,7 ±0,2; 94 ±0,02; ∅7,6; 26,4 ±0,02; M10; $65,2^{\pm 0,2}$; 30 ±0,2; 42 ±0,2; 40,8 ±0,2	Burghiu special ∅7,6 mm Alezor special ∅8E7 mm Burghiu special ∅8,5 mm Burghiu special ∅11 mm Tarod M10	Centu de prelucrare	3,8 0,1 4,25 1,25	0,18 0,15 0,18 72,5	20,52 8,66 20,52 7,28	860 345 860 290	2 2 4 1
19	Ajustarea	Ajustarea muchiilor tăietoare rămase în urma prelucrării								
20	Strunjirea de finisare a locaşurilor de aspiraţie şi refulare	a. Prinderea semifabricatului în dispozitiv 1. Strunjirea interioară a locaşului de aspiraţie la ∅ 48H10, cu respectarea cotei $31_{-0,5}$ şi teşirea la 15º, respectarea cotei $18_{-0,5}$. 2. Strunjirea interioară la ∅ 53H10, respectarea cotei $31_{-0,5}$ şi teşirea la 15º, respectarea cotei $18_{-0,5}$. 3. Găurirea la $∅1,6^{+0,2}$ străpunsă. b. Desprinderea piesei	∅48H10; $∅16^{+0,2}_{+0,0}$; $31^{+0}_{-0,5}$; $31^{+0}_{-0,5}$; ∅53H10; $18^{+0,0}_{-0,5}$; $18^{+0,0}_{-0,5}$	Sculă specială Sculă specială Burghiu ∅16	Centu de prelucrare	1,0 1,0 0,8	0,15 0,15 0,08	18,09 19,96 20,1	120 120 4000	1 1 1

Tabelul 8.11. (*continuare*)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
21	Asamblarea capacului	1. Fixarea carcasei în menghină. 1. Aşezarea capacului pe carcasă şi fixarea cu cele patru şuruburi M10 la 4KdaNm. 2. Marcarea pentru împerechere. b. Desprinderea piesei.		Cheie dinamometrică	Manual					
22	Strunjirea locaşurilor de pinioane	a. Fixarea dispozitivului pe masa maşinii. b. Prinderea semifabricatului în dispozitiv. 1. Strunjirea interioară a locaşului lagărelor ∅35,5 la capac şi carcasă. 2. Teşirea la 2×20º la alezajele capacului. 3. Alazarea capacului şi carcasei la ∅36H8. c. Deşurubarea celor patru şuruburi ale capacului. d. Scoaterea capacului din carcasă. 4. Strunjirea de degroşare, a celor două locaşuri la ∅64,2 şi frontal la cota 59,5. 5. Strunjirea de finisare a celor două locaşuri la ∅65H8 şi frontal la 60H8. e. Desprinderea piesei. 6. Montarea capacului pe carcasă şi înşurubarea celor patru şuruburi M10×70.	∅65H8 ∅36H6 ∅36H6 ∅65H8 60H8	Cuţit special Tijă cu cuţit la 20º Alezor ∅36H6 Cuţit special Cuţit special	Centu de prelucrare	1,0 1,0 1,0 0,6 0,4	0,15 0,15 0,15 0,4 0,14	18,4 18,4 11,08 42,1 21,4	165 165 341 400 400	1 1 1 1 1

Tabelul 8.11. (*continuare*)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
23	Controlul strunjirii locașelor pinioanelor	1. Controlarea cotei 36 H6 2. Controlarea cotei 65 H8 3. Controlarea cotei $53{,}2^{+0,2}_{-0,2}$		Calibru tampon Calibru tampon Micrometru	Manual					
24	Spălarea piesei	1. Spălarea piesei în soluție alcalină. 2. Suflarea cu aer comprimat			Manual					
25	Controlul final	Se vor controla toate cotele conform cu desenul de execuție.								
26	Conservare									

8.20. TEHNOLOGIA DE PRELUCRARE A PIESELOR DIN CLASA „ROȚI DINȚATE”

8.20.1. Caracteristici constructive şi condiții tehnice impuse

Roțile dințate sunt organe de maşini care intră în componența aproape a tuturor genurilor de maşini şi instalații, ceea ce face ca procesul tehnologic de prelucrare a lor să fie diferit în funcție de forma şi dimensiunile caracteristice, precizia de prelucrare şi tipul de producție.

Cu toată varietatea mare a roților dințate întâlnite în construcția de maşini, din punct de vedere geometric şi dimensional, după criterii tehnologice se pot împărți în (fig. 8.281): roți dințate cilindrice cu o coroană cu dinți drepți, înclinații sau curbi-roți melcate; roți dințate cu două sau mai multe coroane cilindrice cu dinți drepți (baladoare); axe cu o coroană dințată cilindrică sau conică cu dinți drepți înclinați sau curbi.

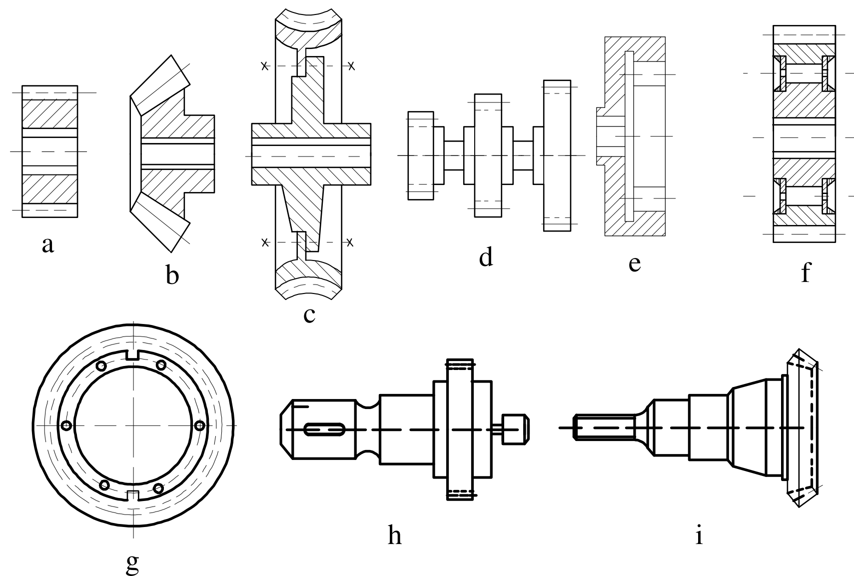


Fig. 8.281. Diferite tipuri constructive de roți dințate:
a - roată cilindrică simplă; b - roată conică simplă; c - roată melcată asamblată; d - bloc balador de trei roți; e - roată cilindrică cu dantură interioară; f - roată cilindrică în construcție sudată; g - coroană dințată de dimensiuni mari asamblată din două bucăți; h - arbore pinion cilindric; i - arbore pinion conic.

Analizând cele mai frecvente tipuri constructive de roți dințate se constată că au următoarele suprafețe importante:

- suprafețele de centrare (alezajele - la roțile cu alezaj şi fusurile - la arborii pinion);
- danturile, care pot fi cilindrice, conice, melcate etc.;
- suprafețele de antrenare în mişcare de rotație (canale de pană, caneluri interioare sau exterioare etc.);
- suprafețele de angrenare în mişcarea de translație axială pentru cuplare (la roțile baladoare).

Condițiile tehnice impuse roților dințate se referă la:

- precizia dimensiunilor, formei şi poziției danturii în raport cu suprafețele de centrare (trepta de precizie a danturii, jocul de angrenare, toleranța jocului şi toleranța distanței dintre axe - înscrise în tabela de componență a danturii);
- precizia dimensională, de formă şi de poziție a suprafețelor de antrenare, în raport cu cele de centrare (concentricitatea suprafeței exterioare a coroanei dințate față de axa de simetrie a alezajului central cuprinsă în trepta 3…7 de precizie, perpendicularitatea suprafețelor frontale a coroanei dințate şi a butucilor față de axa de simetrie a alezajului central este ≤ 0,15 μm la un milimetru diametru etc.)
- condiții tehnice de material şi de tratamente termice.

8.20.2. Alegerea materialelor şi semifabricatelor

Pentru fabricarea roților dințate se utilizează o gamă foarte largă de materiale ale căror caracteristici tehnico-economice corespund diverselor condiții de exploatare şi de fabricație. Cele mai des folosite materiale sunt:

- fontele cenuşii (Fc 250, Fc 300 etc.) care se utilizează la confecționarea roților dințate ce lucrează cu viteze periferice scăzute (v_p < 2m/s), cum sunt roțile melcate, roțile de dimensiuni mari, roțile puțin solicitate şi de dimensiuni mijlocii sau mici etc.;
- oțelurile turnabile care se utilizează la confecționarea roților şi pinioanelor de dimensiuni mari şi viteze scăzute sau a roților puțin solicitate în timpul funcționării. Oțelurile aliate deformabile (oțeluri cu crom, crom-molibden, crom-nichel cementabile sau de îmbunătățire) se utilizează la confecționarea roților puternic solicitate la şocuri, pinioanelor cu care acestea angrenează, roților dințate puternic solicitate la uzură etc.;
- aliajele neferoase care se utilizează în fabricația roților de dimensiuni foarte mici (aparate de măsură, orologenie etc.), la execuția roților melcate unde frecarea din angrenare este deosebit de mare (coroana dințată se execută din bronz, iar corpul este din fontă sau oțel nealiat);
- pulberile, pentru confecționarea roților dințate mici rezistente la uzură intensă;
- materialele nemetalice (textolit, ebonită, materiale plastice etc.) care se utilizează pentru confecționarea roților dințate puțin solicitate.

Materialul din care se confectionează roțile dințate, dimensiunile şi forma acestora, precizia de execuție şi tipul producției determină tipul şi natura semifabricatului. Astfel, se utilizează:

- semifabricatele turnate din fontă, oțeluri carbon sau oțeluri slab aliate pentru roți supuse la solicitări reduse sau de dimensiuni mari. De asmenea, roțile melcate cu diametru $D \leq 200$ mm se toarnă din bronz (BzAl 10T, Bz 12T etc.), în întregime, sau numai coroana melcată pentru $D > 200$ mm. Forma semifabricatului turnat este apropiată de cea a piesei finite. Nu se obțin prin turnare canelurile, canalele de pană, găurile cu diametru sub 15 mm şi dantura (excepție fac pinioanele de modul foarte mare);

- semifabricatele deformate, pentru roțile puternic solicitate. Obținerea semifabricatelor se poate face prin: forjare liberă - la dimensiuni mari şi serii mici de fabricație, matrițare - la dimensiuni mici şi mijlocii şi producții de serie mare sau masă; rulare la cald sau la rece - pentru dimensiuni mijlocii şi producții de serie mare sau masă; extrudare, laminare, tragere - pentru roți dințate cu diametrul sub 60…80 mm şi arbori pinion de dimensiuni mijlocii şi mici (sub 200 mm); ştanțare - pentru roți dințate utilizate în mecanica fină, de dimensiuni mici (lățimi sub 6…8 mm) şi danturi obişnuite sau speciale (cicloidale) etc;

- semifabricatele sudate se aplică în cazul roților de dimensiuni mijlocii sau mari, executate în serii mici, din materiale uşor sudabile;

- semifabricatele presate, din pulberi metalice (pe bază de fier sau carburi metalice) sau din mase plastice (injectate,extrudate sau presate în matriță etc.), pentru roți dințate nesolicitate mecanic, dar puternic solicitate la uzură sau eroziune.

8.20.3. Structura procesului tehnologic de prelucrare a pieselor din clasa „roți dințate”

Structura procesului tehnologic de prelucrare a unei roți dințate depinde de construcția, forma şi dimensiunile caracteristice, condițiile tehnice impuse şi caracterul producției. Procesul tehnologic tipizat cuprinde urmăroarele etape importante: obținerea semifabricatului, prelucrarea mecanică de degroşare, tratamentul termic, prelucrarea mecanică de finisare şi controlul tehnic al calității. Principalele operații sunt prezentate în continuare.

8.20.3.1. Prelucrarea suprafețelor de capăt şi a găurilor de centrare (la arborii pinion)

Operația se execută pe strunguri universale (producție de unicate), pe maşini de frezat şi centruit (producție de serie) sau pe maşini de frezat şi centruit automatizate sau maşini agregate speciale (producție de masă).

8.20.3.2. Prelucrarea de degroşare şi finisare a ansamblului suprafeţelor de bazare utilizate la danturare

Suprafeţele ce intră în acest ansamblu sunt: suprafeţele frontale ale butucului; suprafeţele frontale ale coroanei; suprafaţa cilindrică a alezajului şi suprafaţa exterioară a danturii. Suprafeţele frontale şi cele de revoluţie concentrice cu dantura se execută prin strunjire pe strunguri universale, strunguri cu comandă numerică sau de copiat (producţia de serie) şi strunguri automate, de copiat, multicuţit, speciale (producţia de masă). Pentru exemplificare, se prezintă în figura 8.282 operaţiile de strunjire a unei roţi conice pe un strung frontal cu comandă program.

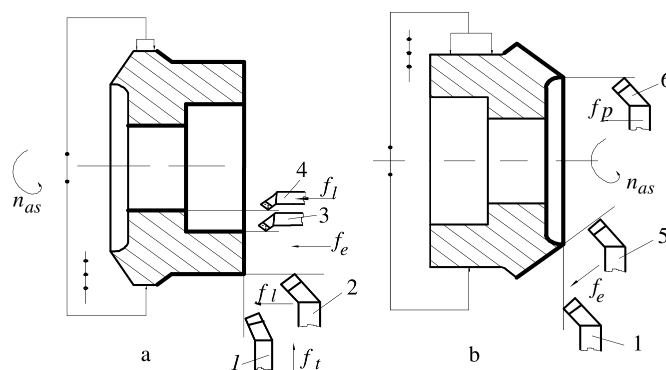


Fig. 8.282. Prelucrarea suprafeţelor de bazare pe un strung frontal cu comandă program pentru o roată dinţată:
a – prelucrarea suprafetelor frontale de la un capăt; b - prelucrarea suprafetelor frontale la capătul opus; 1 – cuţit pentru strunjire frontală; 2 – cuţit pentru strunjire cilindrică exterioară; 3; 4 – cutite pentru strunjire cilindrică interioară; 5 – cuţit pentru strunjire conică; 6 – cuţit pentru degajare; $n_{as}(\overline{v}_c)$ - turaţia (viteza mişcării principale de aşchiere) sculei.

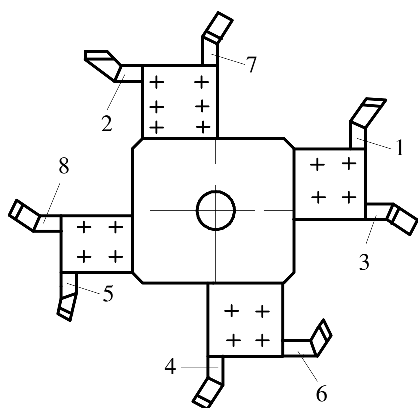


Fig. 8.283. Capul portcuţit al unui strung frontal cu comandă program:
1 – cuţit pentru strunjire frontală; 2 - cuţit pentru strunjire cilindrică exterioară; 3 ;4 - cuţite pentru strunjire cilindrică interioară; 5 - cuţit pentru strunjire conică; 6 - cuţit pentru degajare frontală; 7;8 - cuţite pentru finisare.

Pe capul portcuțit al strungului sunt prinse patru portcuțite cu 8 cuțite (fig. 8.283) ale căror vârfuri sunt precis reglate. În prima operație se execută strunjirea de degroșare a suprafeței frontale dreapta cu cuțitul 1, strunjirea cilindrică exterioară cu cuțitul 2 și strunjirea cilindrică interioară cu cuțitele 3 și 4 (fig. 8.282. a). După o nouă prindere, se execută suprafețele frontale stânga și conică cu cuțitele 1, 6 și 5 (fig. 8.282.b). După alte două prinderi în mod analog se execută operațiile de finisare cu ajutorul cuțitelor 1, 2, 7, 8, 9 și 6.

8.20.3.3. Prelucrarea de degroșare a suprafețelor de antrenare

Operația se execută pe mașini de frezat universale, mașini de frezat caneluri (serie mică, individuală), mașini de frezat canale de pană (serie mijlocie,mare), mașini multiax de frezat caneluri sau canale de pană (serie mare, de masă).

8.20.3.4. Prelucrarea de degroșare a danturilor

În funcție de tipul danturii, operația se execută pe mașini de frezat, rabotat sau mortezat dantura (producția de serie mică, mijlocie) sau pe mașini de broșat sau de frezat dantura (serie mare sau de masă).

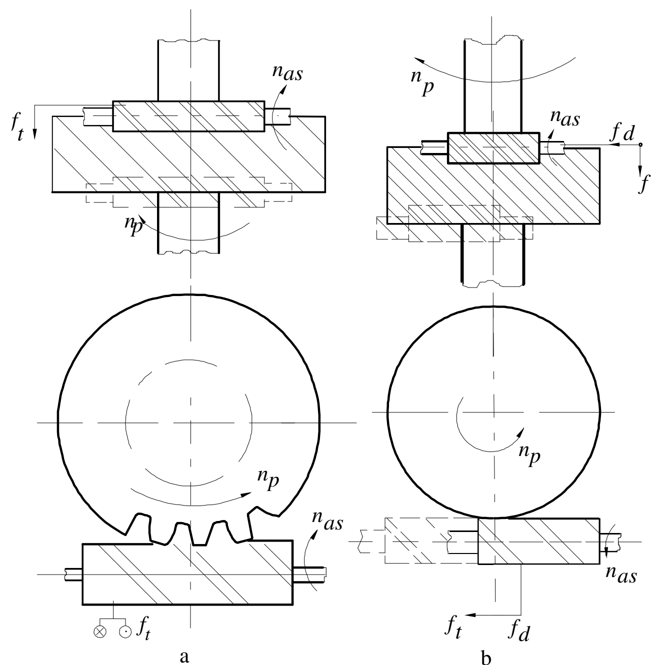


Fig. 8.284. Executarea danturii cu freză melc-modul: a - numai cu avans pe verticală; b - cu avans în diagonală; $n_{as}(\overline{v}_c)$ -turația sculei (viteza mișcării principale de așchiere); $n_p(\overline{v}_{fc})$ - turația piesei (viteza de avans circular).

Prelucrarea danturii se face prin copiere pe mașina de frezat universală folosind capul divizor, prin rulare cu freza melc-modul, prin mortezare cu cuțit-

roată de mortezat sau cu cuţit-pieptene, prin rabotare cu două cuţite, prin broşare cu broşe circulare, prin deformare plastică la cald sau la rece. Alegerea metodei de executare a danturii depinde de foarte mulţi factori: forma geometrică a danturii, dimensiunile de gabarit, solicitările din timpul funcţionării, condiţiile tehnice impuse, caracterul producţiei etc.

O metodă foarte des întâlnită este frezarea danturii prin rulare folosind freza melc-modul (fig. 8.284). Această metodă realizează o mare productivitate şi o mare economie de freze melc, deoarece creşte mult durabilitatea muchiilor aşchietoare datorită schemei cinematice de generare folosită.

8.20.3.5. Prelucrarea suprafeţelor auxiliare, ajustare, spălare, control intermediar

Se execută toate suprafeţele auxiliare: degajări, teşituri, canale, găuri pentru reducerea greutăţii piesei şi altele. Prelucrările se fac pe strunguri universale, strunguri revolver sau automate, pe maşini de frezat universale sau speciale.

Spălarea pieselor se face în apă cu sodă, după care se usucă cu aer cald.

8.20.3.6. Tratamentul termic

Deoarece dinţii roţilor dinţate sunt puternic solicitaţi la încovoiere variabilă cu şoc, strivire şi uzură este necesară aplicarea unor tratamente termice complexe.

În procesul tehnologic de fabricare a roţilor dinţate, tratamentul termic comportă două etape importante:

- îmbunătăţirea prelucrabilităţii prin aşchiere, care se aplică la începutul procesului tehnologic în vederea intensificării procesului de aşchiere (recoacere de înmuiere, de detensionare, de globulizare a perlitei etc.);
- îmbunătăţirea caracteristicilor funcţionale, care se aplică în scopul creşterii rezistenţei danturii la solicitările cu şoc din timpul funcţionării. Se execută înainte de operaţia de finisare şi sunt tratamentele termo-fizice şi termo-chimice (îmbunătăţirea, normalizarea, călirea superficială, cianurarea, cementarea, cianonitrurarea etc.).

8.20.3.7. Finisarea suprafeţelor de centrare

Operaţia se execută pe maşini universale de rectificat (serie mică sau individuală), maşini de rectificat semiautomate cu control activ al dimensiunilor (serie mijlocie) sau maşini de rectificat automatizate (serie mare şi de masă). Se face rectificarea de finisare a feţelor frontale şi a alezajului interior în scopul realizării formei, dimensiunilor, poziţiei reciproce şi calităţii necesare rolului funcţional.

Procesele de rectificare au aceleaşi caracteristici ca la oricare categorie de piese, diferă doar modul de bazare. Astfel, în cazul arborilor pinion, la toate

operaţiile de finisare, bazarea se realizează între vârfuri, ceea ce asigură concentricitatea perfectă a tuturor suprafeţelor rectificate. Finisarea prin rectificare a roţilor cu alezaj se execută cel puţin în două etape: rectificarea alezajului urmată de centrarea roţii pe alezaj şi rectificarea danturii.

8.20.3.8. Finisarea suprafeţelor de antrenare

Operaţia se execută pe maşini universale de rectificat (serie mică sau individuală), maşini de rectificat caneluri prin copiere sau rulare (serie mijlocie) sau maşini automatizate de rectificat caneluri prin rulare (serie mare sau masă).

8.20.3.9. Finisarea danturilor

Operaţia se face pe maşini de rectificat după procedeele Maag sau Niles (serie mică sau individuală), maşini de rectificat după procedeele Reishauer şi Lees (serie mijlocie) sau maşini de rectificat prin copiere (serie mare sau masă).

Rectificarea de finisare permite obţinerea unei precizii a profilului dinţilor până la 2,5…3,0 μm, precum şi corecţia tuturor erorilor rezultate din prelucrare sau

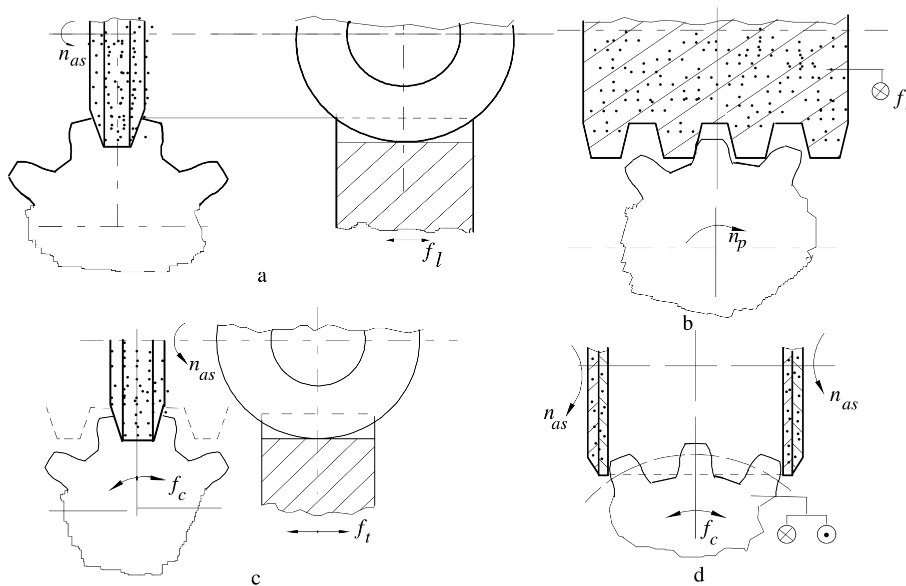


Fig. 8.285. Metode de rectificare a danturii roţilor dinţate:
a - prin copiere cu disc abraziv profilat; b - prin rulare cu melc abraziv; c - prin rulare cu disc abraziv plat; d - prin rulare cu două discuri abrazive taler; $n_{as}(\overline{v}_c)$ - turaţia sculei (viteza mişcării principale de aşchiere); $n_p(\overline{v}_{fc})$ - turaţia piesei (viteza de avans circular); $f_l; f_t; f_c$ - avansul longitudinal şi respectiv transversal sau circular.

tratament termic. Rectificarea se poate face după două metode: prin copiere şi prin rulare. Cele mai des întâlnite metode de rectificare sunt:

- rectificarea cu disc abraziv profilat (fig. 8.285. a), cea mai productivă metodă, realizează precizii medii datorită uzurii neuniforme a discului abraziv. Parametrii regimului de aşchiere la rectificarea prin copiere sunt: adâncimea de aşchiere la o trecere; numărul de treceri; viteza de deplasare a mesei maşinii (avansul longitudinal), viteza periferică a discului de rectificat;

- rectificarea cu melc abraziv (fig. 8.285. b), foarte productivă, dar durabilitate scăzută a melcului abraziv şi deci şi o precizie mai scăzută;

- rectificarea cu discuri plate cu profil conic (fig. 8.285. c) respectă schema de generare a profilului dintelui. Adâncimea de aşchiere la degroşare poate fi 0,12…0,15 mm, iar la finisare mai mică de 0,05 mm. Sunt necesare mai multe treceri şi se obţine o precizie foarte bună;

- rectificarea cu discuri taler (fig. 8.285.d), foloseşte schema de generare prin rulare a danturii. Adâncimea de aşchiere la degroşare este 0,08…1,0 mm, iar la finisare 0,01..0,15 mm. Se obţine o precizie foarte bună şi o rugozitate $R_a \leq 1,6$ μm.

Pentru evitarea arderii stratului superficial şi apariţia fisurilor se recomandă utilizarea discurilor de rectificat moi, reducerea adâncimii de aşchiere la fiecare trecere şi răcire cu lichid prin interiorul discului de rectificat sau cu lichid pulverizat.

8.20.3.10. Superfinisarea danturilor

O calitate superioară a suprafeţelor de lucru a danturii şi o precizie ridicată a dimensiunilor danturii se poate obţine prin rulare, honuire, rodare şi lepuire.

Honuirea se execută cu un hon special, pe maşini de honuit dantura, obţinându-se o rugozitate R_a = 0,4…0,8 μm.

Rodarea se execută de obicei în funcţionare sau pe maşini speciale, folosind pastă abrazivă sau abraziv în suspensie. Se aplică roţilor dinţate ale căror flancuri sunt durificate prin tratamente termice. Rodarea în funcţionare a angrenajelor se face pe standuri speciale, care permit încărcarea progresivă a angrenajelor, de la zero (mersul în gol) până la sarcina nominală. Rodarea este o operaţie care durează foarte mult (10…15 ore), de acea se aplică doar pentru obţinerea de precizii foarte bune şi rugozitate foarte mică.

8.20.3.11. Controlul final

Deoarece condiţiile tehnice sunt multiple şi se referă atât la material, cât şi la multe elemente de precizie locală sau globală, controlul roţilor dinţate este deosebit de important şi se realizează atât pe parcursul desfăşurării procesului tehnologic, cât şi la finalul său.

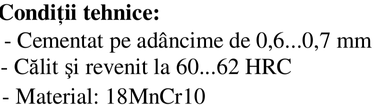
Pe parcursul desfăşurării procesului tehnologic este raţional controlul în

următoarele momente:

- la începutul procesului tehnologic (controlul semifabricatului ca omogenitate a materialului şi dimensiuni);
- înaintea operatiilor de danturare (deoarece aceste operații sunt mult mai scumpe decât celelalte);
- după tratamentul termic (deoarece pot apărea deformații mari care nu mai pot fi înlăturate);
- la sfârşitul procesului tehnologic, pentru a stabili calitatea, cantitatea şi destinația produsului.

Fişa film a unui proces tehnologic de obținere a unei piese din clasa roți dințate se prezintă în tabelul 8.12.

Pentru exemplificare s-a presupus o roată dințată (fig. 8.286) din ansamblul acționării hidraulice al unui ventilator, într-o programă de producție de 2 000 buc/an.



Condiții tehnice:

- Cementat pe adâncime de 0,6...0,7 mm
- Călit și revenit la 60...62 HRC
- Material: 18MnCr10

Fig. 8.286. Roată dințată din ansamblul acționării hidraulice al unui ventilator.

Tabelul 8.12. *Fişa film a procesului tehnologic de realizare a unei roți dințate din clasa ,,roți dințate''*

Nr. crt.	Denumirea operației	Succesiunea fazelor	Schița operației	Scule folosite	Maşina unealta folosită	Regimul de aşchiere				
						a_p	f	v_c	n	i
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Strunjirea frontală de degroşare	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului	$33^{0,0}_{-0,2}$; $8^{+0,1}_{0,0}$; 2,5; $\varnothing 182^{+0,5}_{0,0}$; ⌀ 43; $58,5^{0,0}_{-0,2}$		SN 400					
		1. Strunjirea frontală de degroşare la cota $33_{-0,2}$		Cuțit frontal P30		3	0.68	32,22	46	1
		2. Strunjirea frontală la cota de $58,5_{-0,2}$		Cuțit frontal P30		2,50	0,68	31,28	120	1
		3. Strunjirea interioară de degroşare la cota $182^{+0,5}$		Cuțit lateral P30		8	0,2	105,7	185	1
		4. Găurirea butucului la Ø25		Burghiu elicoidal Ø25		12,5	0,2	11,87	150	1
		5. Lărgirea butucului la Ø43		Burghiu elicoidal Ø43		9	0,15	20,28	150	1
		b. Desprinderea piesei								
2	Strunjirea frontală de degroşare	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului	30; 12,5; 6,3; $\varnothing 217^{0,0}_{-0,5}$; ⌀44,75; 57,5		SN 400					
		1. Strunjirea exterioară de degroşare la cota $\varnothing 217_{-0,5}$		Cuțit exterior P30		3	0,72	31,35	46	1
		2. Strunjirea frontală de degroşare la cota 30		Cuțit frontal P30		3	0,68	47,16	46	1
		3. Strunjirea frontală de degroşare la cota 57,5		Cuțit frontal P30		3,5	0,406	36,7	150	2
		4. Strunjirea interioară de finisare la cota Ø44,75		Cuțit interior P30		0,87	0,20	53,4	380	1
		b. Desprinderea piesei								

Tabelul 8.12. (*continuare*)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	Strunjirea frontală de finisare	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului	1× 45° ; 1×45° ; 0,5 ; $\varnothing 182^{+0,5}_{0,0}$; $\varnothing 215,8^{0,0}_{-0,2}$; $\varnothing 190^{0,0}_{-0,5}$; $54,5^{0,0}_{-0,20}$; $56,5^{0,0}_{-0,15}$		SN 400					
		1. Strunjirea frontală de finisare la cota $56,5_{-0,15}$		Cuţit frontal P10		1,0	0,101	90,72	380	1
		2. Strunjirea frontală de finisare la cota $54,5_{-0,2}$		Cuţit frontal P10		0,6	0,2	65,42	96	1
		3. Strunjirea interioară de degroşare la cota $\varnothing 182^{+0,5}$		Cuţit interior P10		0,7	0,15	102,25	150	1
		4. Strunjire cilindrică exterioară de finisare la $\varnothing 190_{-0,5}$		Cuţit exterior P10		0,6	0,20	65,45	96	1
		5. Strunjire cilindrică exterioară de finisare la $\varnothing 215,8_{-0,2}$		Cuţit exterior P10		0,6	0,22	81,35	120	1
		6. Teşire 1×45º		Cuţit exterior P10		1,0	0,15	81,35	120	1
		7. Teşire 1×45º		Cuţit exterior P10		1,0	0,15	81,35	120	1
		b. Desprinderea piesei								
4	Frezarea feţei butucului	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului	$56^{+0,0}_{-0,5}$; 6,3	Joc de freze	Maşină de frezat universală FU 350	3	8,5	87,9	280	1
		1. Frezarea la cota $56_{-0,5}$								
		b. Desprinderea piesei								
5	Prelucrarea prin frezare a danturii	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului.	∅ 204,468		Maşina de frezat FD320A					
		1. Frezarea prin rulare a danturii		Freză melc modul $m = 4$		5,98	1,66	22,80	58,15	1
		b. Desprinderea piesei								

Tabelul 8.12. (*continuare*)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	Ajustarea danturii	Ajustarea danturii	0,2 0,2	Pilă	Manual					
7	Strunjirea conică	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului	3,2 20° 0,7 1:50 29 4 ⌀49,65		SN 400					
		1. Strunjirea conică 1:50		Cuţit interior P10		1	0,25	58,96	380	2
		2. Strunjirea conică la interior 4×20°		Cuţit interior P10		1,45	0,15	60,7	380	1
		3. Strunjirea canalului la cota 0,7				0,7	0,1	59,87	380	1
		b. Desprinderea piesei		Cuţit pentru canal circular						
8	Găurirea	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului	⌀4 12,5		Maşină de găurit cu braţ vertical					
		1. Găurirea la ∅4		Burghiu elicoidal		2	0,05	12,56	1000	1
		b. Desprinderea piesei								
9	Lărgirea	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului	∅11,8 15 6,3		Maşină de găurit cu braţ vertical					
		1. Lărgirea la ∅15		Lărgitor ∅11,8		3,9	0,15	13,16	385	1
		b. Desprinderea piesei								

Tabelul 8.12. (*continuare*)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	Lamarea	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului	$\varnothing 15^{+0,3}_{0}$; $\varnothing 2^{+0,2}_{0,0}$; 6,3		Maşină de găurit cu braţ vertical					
		1. Lamarea la ∅15		Lamator cu cep ∅15		1,6	0,16	2,96	63	1
		b. Desprinderea piesei								
11	Filetarea	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului	G1/4"; 17^{+1}_{0}		Maşină de găurit cu braţ vertical					
		1. Filetarea la G ¼''		Set de trei tarozi G ¼''		0,64	19 p/ţol	3,72	90	3
		b. Desprinderea piesei								
12	Ajustarea	Ajustarea muchiilor canalului	R1,6; R2,5	Pânză abrazivă	Manual					
13	Tratamentul termic	Cementarea Spălarea Controlul durităţii Polizarea pentru C.T.C.		Adâncimea stratului cementat 0,5…0,7 mm						
14	Tratamentul termic	Călirea Spălarea Revenire Controlul durităţii Polizarea pentru C.T.C.		Călirea până la 62…65 HRC						

Tabelul 8.12. (*continuare*)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15	Rectificarea	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului			Maşină de rectificat interior					
		1. Rectificarea de finisare a alezajului conic Ø50(∠1 :50)		Piatră cilindrică Ø45		0,0018	15	25,9	11000	97
								47,12	300	
		2. Rectificarea frontală a butucului la cota 56,3		Piatră oală tip III		0,0167	0,16	25,9	11000	12
								21,9	100	
		b. Desprinderea piesei								
16	Rectificarea frontală	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului			Maşină de rectificat universală					
		1. Rectificarea frontală la cota $56_{-0,2}$		Piatră oală tip III		0,0199	0,16	25,9	11000	16
								29,3	100	
		2. Rectificarea frontală a butucului la cota $54,5_{-0,05}$		Piatră oală tip III		0,016	0,16	25,9	11000	17
								23,56	100	
		b. Desprinderea piesei								
17	Rectificarea danturii	a. Orientarea şi fixarea semifabricatului			Maşina de rectificat prin procedeul Nies					
		1. Rectificarea danturii		Disc abraziv biconic		0,02	0,7	18	1785	8
								6,3	25	
		b. Desprinderea piesei								

Tabelul 8.12. (*continuare*)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
18	Controlul final	1. Controlarea lungimii peste 7 dinți $L_{n7} = 830,916_{-0,033}$			Micrometru pentru dantură					
		2. Controlarea conicității			Calibru tampon conic					
		3. Controlarea abaterii de la concentricitate la diametrul de divizare față de suprafața A max. 0,045			Dispozitiv control					
		4. Verificarea bătăii frontale								
		5. Verificarea filetului G ¼''			Tampon filet T-NT					
		6. Controlarea rugozităților 0,4 ; 0,8 ; 1,6			Rugozimetru					
19	Conservare									



PRELUCRAREA MATERIALELOR PRIN MICROAŞCHIERE

9.1. GENERALITĂŢI

Procedeele de prelucrare prin aşchiere prezentate anterior devin ineficiente din punct de vedere economic sau chiar imposibil de aplicat în anumite situaţii, cum ar fi:

- prelucrarea suprafeţelor complexe sau deosebit de complexe, în special de dimensiuni foarte mici (de ordinul zecimilor de milimetru sau al micronilor);
- prelucrarea pieselor confecţionate din materiale cu proprietăţi cu totul deosebite (rezistenţă foarte mare la rupere, refractaritate înaltă, rezistenţă la coroziune şi la cavitaţie, fragilitate mare, tenacitate ridicată etc.);
- obţinerea de precizii dimensionale ridicate, calitatea suprafeţei foarte bună la suprafeţe de dimensiuni foarte mici (microdimensionale);
- piesele-semifabricat sau sculele cu ajutorul cărora se face îndepărtarea adaosurilor de prelucrare au o rigiditate insuficientă (prelucrările microdimensionale);
- obţinerea unor productivităţi sporite în condiţiile unor însemnate economii de combustibili convenţionali, materii prime şi resurse energetice.

Toate aceste limitări au determinat şi determină apariţia şi dezvoltarea unor procedee de prelucrare noi, care se numesc *procedee neconvenţionale sau speciale,* deoarece nu au încă o arie foarte largă de răspândire precum cele clasice. La aceste procedee de prelucrare, îndepărtarea adaosului de prelucrare se face sub formă de particule foarte mici (cu dimensiuni sub 1,0 mm, microscopice, dizolvate etc.),

numite *microaşchii.* Desprinderea şi fărâmiţarea în microparticule a adaosului de prelucrare are loc ca urmare a interacţiunii dintre piesa-semifabricat şi un *agent eroziv*. Agentul eroziv este un sistem fizico-chimic sau fizico-mecanic complex, capabil să cedeze energie mediului în care se găseşte împreună cu piesa-semifabricat. Energia conţinută de agentul eroziv poate fi de natură electrică, termică, chimică, mecanică, electrochimică, electromagnetică sau de radiaţie.

În interacţiunea dintre agentul eroziv şi piesa-semifabricat are loc transformarea energiei conţinute de agentul eroziv în energie de distrugere a integrităţii straturilor de suprafaţă, când se depăşeşte valoarea energiei de legătură a particulelor din aceste straturi.

Mecanismul elementar al desprinderii stratului adaosului de prelucrare, în funcţie de natura predominantă a energiei distructive, are la bază următoarele fenomene:

- ruperi de material sub formă de microparticule în straturile de suprafaţă, ca urmare a unor acţiuni mecanice şi termice repetate;
- topire, vaporizare, sublimare a unor volume elementare de material;
- coroziune.

În toate cazurile, pentru realizarea procesului de desprindere a straturilor de material din adaosul de prelucrare este necesară o anumită mărime şi o astfel de repartiţie spaţio-temporală a energiei agentului de eroziune încât să se depăşească energia de legătură a particulelor din straturile de suprafaţă ale piesei-semifabricat.

Principalele procedee de prelucrare dimensională prin microaşchiere clasificate după natura agentului eroziv se prezintă în tabelul 9.1.

Tabelul 9.1. *Principalele procedee de prelucrare dimensională prin microaşchiere*

Nr. crt.	Denumirea procedeului de prelucrare dimensională prin microaşchiere	Agentul eroziv
1	Prelucrarea dimensională prin eroziune electrică (electroeroziunea)	descărcare electrică în impuls
2	Prelucrarea dimensională prin eroziune electrochimică (electrochimia)	electrolitul în câmp electric
3	Prelucrarea dimensională prin eroziune chimică	o substanţă chimică activă
4	Prelucrarea dimensională prin eroziune complexă electrochimică şi electrică (anodo-mecanică)	arcul electric nestaţionar şi electrolitul în câmp electric
5	Prelucrarea dimensională prin eroziune cu plasmă	arcul sau jetul de plasmă
6	Prelucrarea dimensională prin eroziune cu radiaţii	radiaţia electromagnetică sau corpusculară
7	Prelucrarea dimensională prin eroziune cu ultrasunete	suspensie abrazivă şi cavitaţia ultrasonoră

9.2. PRELUCRAREA DIMENSIONALĂ PRIN EROZIUNE ELECTRICĂ (ELECTROEROZIUNEA)

9.2.1. Schema de principiu

Prelucrarea se bazează pe efectele erozive complexe, discontinuie şi localizate, ale unor descărcări electrice prin impuls, amorsate repetat între piesa-semifabricat şi un electrod-sculă.

Piesa-semifabricat 1 şi electrodul sculă 2 conectate la o sursă de energie electrică 3 se cufundă într-un dielectric 4 (fig. 9.1), între ele existând un spaţiu numit *insterstiţiu de prelucrare s*, în care se desfăşoară descărcările electrice 5.

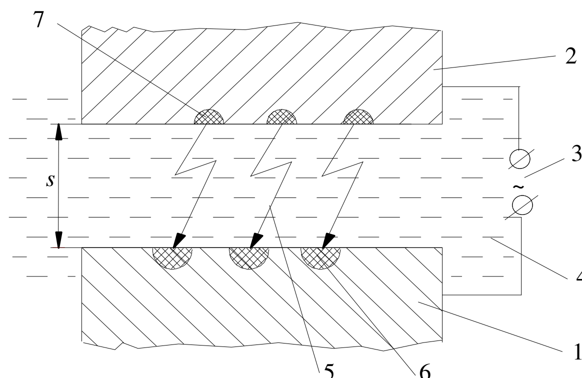


Fig. 9.1. Schema de principiu a prelucrării dimensionale prin electroeroziune:
1 - piesa de prelucrat; 2 - electrodul sculă; 3 - sursă de energie electrică; 4 - dielectric;
5 - descărcări electrice; 6 - desprinderi de material din piesă; 7 - desprinderi de material din electrod.

Cu o tensiune şi o putere suficientă a sursei, între electrodul-sculă şi piesa semifabricat apare o descărcare electrică. Această descărcare trece succesiv prin următoarele stadii; *descărcare luminiscentă, scânteie, scânteie-arc* şi *arc*. Pentru ca în urma acestor descărcări să aibă loc desprinderile de material 6 din adaosul de prelucrare, este necesar să fie îndeplinite următoarele condiţii:

- introducerea directă a energiei electrice la suprafaţa piesei-semifabricat ce urmează a fi prelucrată. Pentru aceasta trebuie ca şi piesa-semifabricat şi electrodul-sculă să fie confecţionate din materiale electroconductoare, iar conectarea lor la tensiunea sursei de alimentare să îndeplinească condiţiile necesare amorsărilor prin străpungere;

- dozarea temporară în impuls a energiei electrice în zona de interacţiune electrod-sculă-dielectric-piesă-semifabricat. Condiţia este necesară pentru a se localiza efectul energiei de descărcare pe piesa-semifabricat şi prelevarea de material;

- asigurarea unui caracter polarizat al descărcărilor electrice în impuls. Efectul termic al descărcării va conduce la prelevarea de material atât din piesa-semifabricat 6, cât şi din electrodul-sculă 7, de aceea scopul urmărit este ca prelevarea de la piesa-semifabricat să fie cât mai mare. Fenomenul se poate dirija prin conectarea piesei-semifabricat şi electrodului-sculă la polarităţile corespunzătoare şi prin utilizarea, în confecţionarea electrodului-sculă, a unor materiale cu rezistenţă erozivă mare sau formarea unor pelicule protectoare;

- restabilirea continuă a stării iniţiale în intervalul eroziv, pentru ca descărcările să se poată repeta practic în condiţii identice. Pentru aceasta este necesară evacuarea eficientă a produselor eroziunii şi restabilirea distanţei de amorsare a descărcărilor.

9.2.2. Mecanismul fizic al prelucrării dimensionale prin electroeroziune

Piesa-semifabricat 1 şi electrodul-sculă 2, cufundate în dielectricul 3, se conectează la ieşirea unui generator de impulsuri de tensiune (fig.9.2).

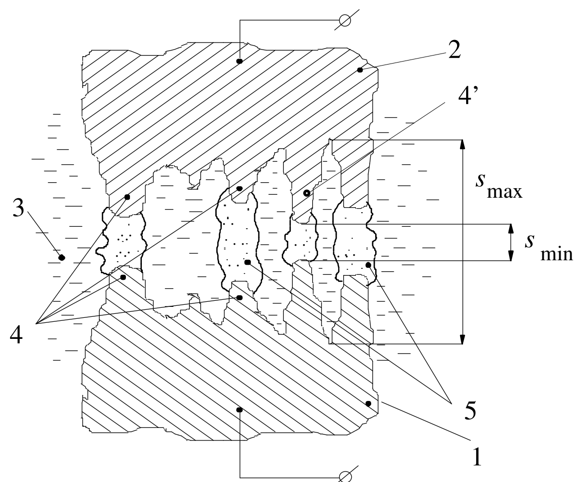


Fig. 9.2. Mecanismul fizic al prelucrării prin electroeroziune:
1 - piesa - semifabricat; 2 - electrodul sculă; 3 - dielectric;
4,4′ - microneregularităţi; 5 - microcanale de descărcare.

Între suprafeţele în interacţiune există un interstiţiu s (s = 0,01…0,5 mm) ocupat de mediul dielectric. Pentru amorsarea descărcărilor electrice trebuie corelată mărimea interstiţiului şi rigiditatea dielectricului cu tensiunea de mers în gol a generatorului. Fiecare descărcare se amorsează în locul unde condiţiile sunt cele mai favorabile, şi anume, pe vârfurile cele mai apropiate ale microneregularităţilor 4′ (unde interstiţiul este minim - s_{min}). Microdescărcările

electrice amorsate străpung stratul de dielectric simultan într-o mulţime de puncte, şi energia electrică se transformă în energie calorică şi energie mecanică. Energia de descărcare are o mare densitate (30 000…35 000 J/mm^3) atingându-se puteri de sute de kW/mm^3, localizarea ei pe vârfurile microneregularităţilor având ca efect topirea şi vaporizarea metalului.

Principalele procese fizico-chimice care au loc sub acţiunea descărcării electrice în impuls sunt prezentate în figura 9.3.

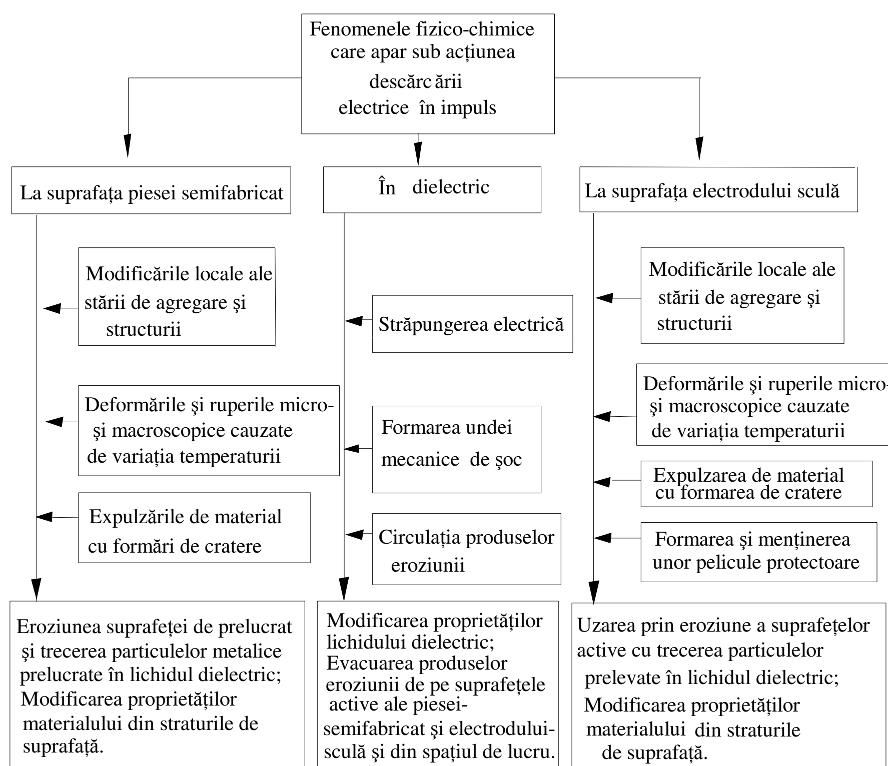


Fig. 9.3. Fenomene fizico-chimice specifice prelucrării dimensionale prin electroeroziune în medii dielectrice lichide.

Microdescărcările electrice în interstiţiul de lucru dintre piesa-semifabricat şi electrodul-sculă, sub formă de impulsuri (dreptunghiulare, triunghiulare, sinusoidale etc.) duc la formarea unor microcanale 5, cu diametrul de la câţiva μm, la 700…900 μm şi cu lungimi de la 100…150 μm până la 400…600 μm (uneori chiar până la câţiva mm). În aceste canale, ca urmare a fenomenului de ionizare a mediului (concentraţia de ioni este de $10^{12}…10^{13}$ ioni/cm^3), are loc formarea plasmei la temperaturi de circa 50 000K, care topeşte şi vaporizează rapid vârfurile

microneregularităţilor. Formarea canalelor de microdescărcări depinde de interstiţiul *s*, aceasta influenţând direct întregul proces electroeroziv şi, în special, durata şi energia impulsului, mărimea coeficientului de umplere, forma şi amplitudinea descărcării pe suprafaţa de lucru şi eficienţa ei, circulaţia dielectricului şi a produselor electroerozive.

Producerea unei descărcări este urmată de o creştere locală a interstiţiului, ceea ce determină ca următoarele descărcări să se amorseze în noi zone. În acest mod, descărcările parcurg în mod succesiv întreaga suprafaţă de interacţiune, rezultând o creştere treptată a distanţei dintre suprafaţa piesei-semifabricat şi cea a electrodului-sculă .

Mecanismul fizic de prelevare a materialului de pe suprafaţa piesei-semifabricat însumează trei fenomene distincte, care se completează reciproc:

- *fenomenul termic*, determinat de cedarea bruscă a energiei cinetice a sarcinilor electrice în mişcare. În funcţie de valoarea acestor energii, îndepărtarea de material poate avea loc sub formă de topire, lentă sau rapidă, vaporizare, liniştită sau rapidă, sau prin topire plus vaporizare.Mărimea particulelor desprinse $\varnothing_{med}$ este dependentă de energia descărcării în impuls *W* (fig. 9.4);

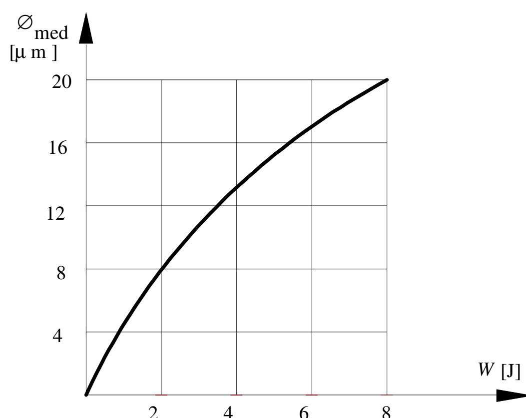


Fig. 9.4. Variaţia diametrului particulelor prelevate la o descărcare în funcţie de energia descărcării.

- *fenomenul mecanic,* determinat de existenţa în masa piesei-semifabricat a unor bule de gaze, care datorită dilataţiei termice expulzează particulele;

- *fenomenul electrodinamic*, determinat de rezistenţa sarcinilor electrice în mişcare, din microcanalele microdescărcărilor electrice. Fiind vorba de curenţi electrici variabili în timp, între piesa-semifabricat şi electrodul-sculă apare un câmp electromagnetic şi, deci, forţe electrodinamice care vor acţiona asupra sarcinilor electrice în mişcare.

Dintre cele trei fenomene amintite, *fenomenele termice au un rol determinant în prelevarea de material,* deci prelucrabilitatea diferitelor materiale

poate fi caracterizată prin proprietăţile lui termofizice. Pentru aprecierea prelucrabilităţii se poate utiliza criteriul de *proporţionalitate a timpului de topire a unui volum de metal considerând celelalte condiţii de prelucrare constante (criteriul π - criteriul Palatnik),* dat de relaţia:

$$\pi = \rho \cdot c \cdot \lambda \cdot \theta_t^{\,2} , \tag{9.1}$$

în care: c este căldura specifică; ρ - densitatea; λ - coeficientul de conductivitate termică; θ_t - temperatura absolută de topire.

Prelucrabilitatea prin electroeroziune este invers proporţională cu criteriul lui Palatnik (π).

Fenomene erozive similare cu cele de pe suprafaţa piesei-semifabricat apar şi pe suprafaţa electrodului-sculă. Eroziunea minimă a electrodului-sculă se realizează prin conectarea la polaritatea optimă (în funcţie de stadiile respective ale descărcării) şi prin utilizarea unor materiale cu valori ridicate ale criteriului Palatnik. Uzual, se folosesc materiale cu o bună conductivitate termică sau cu o temperatură de topire ridicată (aluminiu, argint, crom, cupru, grafit, nichel, wolfram, zirconiu etc.).

9.2.3. Utilaje folosite la prelucrarea prin electroeroziune

Maşinile de prelucrat prin electroeroziune se clasifică după foarte multe criterii. Din punct de vedere al destinaţiei pot fi: *universale, speciale şi specializate cu comandă program* şi *comandă adaptivă sau autoadaptivă*, cunoscând o mare dezvoltare şi perfecţionare în ultimul timp. Indiferent de tipul constructiv, schema de principiu a unei instalaţii de prelucrare prin electroeroziune se prezintă în figura 9.5.

Piesa-semifabricat de prelucrat 1 şi electrodul-sculă 2, cufundate în dielectricul 4 din cuva 5, se conectează la ieşirea generatorului de impulsuri de tensiune 3. Pentru amorsarea descărcărilor este necesară corelarea mărimii interstiţiului de prelucrare *s* şi a rigidităţii dielectricului 4, din cuva 5, cu tensiunea de mers în gol a generatorului, corelare ce se face cu ajutorul unui sistem de avans 6. Descărcările electrice în impuls sunt însoţite de efecte erozive complexe, în mare măsură la piesa-semifabricat şi într-o mai mică măsură la electrodul-sculă. Producerea de descărcări electrice este însoţită de creşterea locală a interstiţiului şi oprirea la un moment dat a procesului de prelevare de material, dacă interstiţiul nu este menţinut la o valoare optimă, operaţie ce se face cu ajutorul mecanismului de avans. Particulele de metal prelevate se aglomerează în interstiţiul de prelucrare, de aceea ele trebuie îndepărtate. Acest lucru se realizează cu ajutorul unui sistem de recirculare-răcire-filtrare a dielectricului, format din pompa 8, filtrul 9, rezervorul 10 şi sistemul de răcire 11. Pentru ca procesul de erodare să se desfăşoare neîntrerupt şi pentru ca uzura electrodului-sculă să fie cât mai mică, este necesar ca electrodul-sculă să fie răcit în permanenţă (răcire efectuată cu dielectricul trimis

prin canalele de răcire 12) şi dielectricul să transporte toate produsele eroziunii 7 în afara spaţiului de lucru.

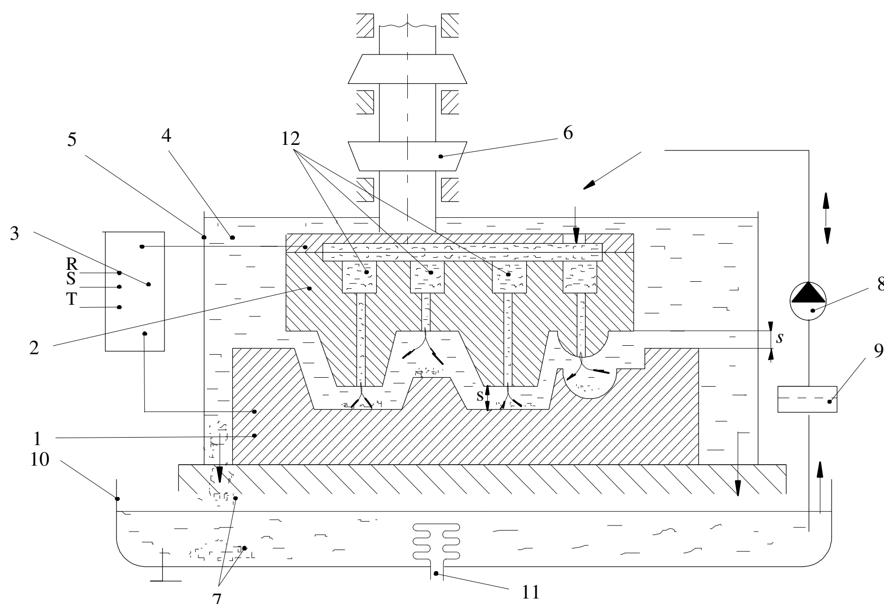


Fig. 9.5. Schema de principiu a unei instalaţii de prelucrare prin electroeroziune:
1 - piesa - semifabricat; 2 - electrodul sculă; 3 - generatorul de impulsuri de tensiune; 4 - dielectricul; 5 - cuva; 6 - sistemul de avans; 7 - microparticulele; 8 - pompă; 9 - filtrul; 10 - rezervorul; 11 - sistemul de răcire; 12 - canalele de răcire a electrolitului sculă.

Principalele părţi componente ale unei maşini de prelucrat prin electroeroziune sunt:

- *generatorul de impulsuri*, care poate fi *cu acumulare* (*dependent*) sau *fără acumulare* (*independent*). În cazul generatoarelor cu acumulare, formarea impulsurilor se bazează pe descărcarea energiei înmagazinate într-un câmp electric sau magnetic. Schema de principiu a generatorului de impulsuri cu energie înmagazinată tip *RC* este prezentată în figura 9.6. De la sursa de curent continuu *U* se alimentează, prin impedanţa de încărcare *R*, un condensator *C*, la bornele căruia se conectează piesa-semifabricat şi electrodul-sculă. Prin conectare la sursă, condensatorul se încarcă până la atingerea tensiunii necesare amorsării descărcărilor. Condensatorul se descarcă într-un timp scurt, descărcările ajungând în stadiul de scânteie sau scânteie-arc.

Generatoarele fără acumulare sau independente se bazează fie pe întreruperea curentului furnizat de o sursă de curent continuu, fie pe generarea directă a impulsurilor cu ajutorul maşinilor electrice rotative sau a circuitelor cu saturaţie magnetică;

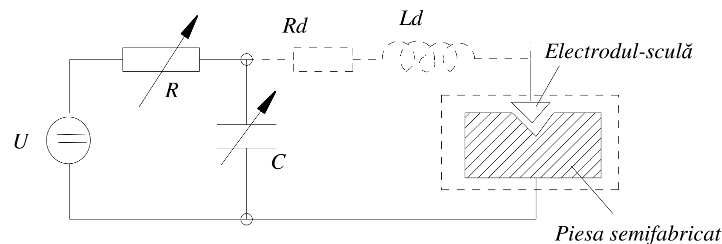


Fig. 9.6. Schema de principiu a generatorului de impulsuri RC:
U - sursa de curent; *R* - impedanţă de încărcare; *C* - condensator.

- *partea mecanică* formată din: batiu; masa pe care se fixează semifabricatul, prevăzută cu un sistem de poziţionare după cele trei axe de coordonate; cuva cu lichidul dielectric; sistemul de avans care realizează mişcarea de pătrundere a electrodului-sculă; regulatorul automat al sistemului de avans, care permite realizarea şi menţinerea interstiţiului corespunzător; sistemul de recirculare-răcire-filtrare a dielectricului etc. Principalul rol al părţii mecanice este asigurarea poziţionării relative dintre piesa-semifabricat şi electrodul-sculă. Din punct de vedere al batiurilor, maşinile de prelucrat prin electroeroziune pot fi cu: montant, coloană, două coloane, construcţie portal, patru coloane etc. Construcţiile cele mai des utilizate sunt cele cu portal şi masă în coordonate.

Cuva de lucru este realizată în două variante: cuvă fixă pe masa maşinii sau cuvă retractabilă. Lichidele dielectrice frecvent utilizate sunt petrolul, uleiul, motorina şi în cazuri speciale apa distilată sau gaze sub presiune.

Sistemele de reglare automată a interstiţiului trebuie să menţină o astfel de distanţă între piesa-semifabricat şi electrodul-sculă, încât impulsurile de lucru să fie în număr maxim, iar impulsurile fictive şi cele de scurtcircuit să tindă către zero.

Deplasarea fizică a electrodului în direcţia optimizării interstiţiului este realizată printr-un servomecanism cu rol de element de execuţie ;

- *electrodul-sculă* este format dintr-o parte activă, care participă direct la generarea suprafeţei şi care este confecţionată dintr-un material corespunzător cerinţelor procesului de eroziune, şi dintr-o parte auxiliară, cu care se fixează de capul maşinii de prelucrat. Principalele funcţii ale electrodului-sculă sunt: introducerea energiei electrice în spaţiul de lucru şi localizarea macroscopică a impulsurilor de curent electric la suprafaţa piesei-semifabricat. În acest scop, electrodul trebuie să asigure introducerea energiei în condiţiile desfăşurării stabile a procesului de prelevare, să fie stabil la eroziune electrică, să posede suprafeţe de bazare pentru fixarea pe maşină şi să fie executat cu o precizie dimensională corespunzătoare preciziei impuse prelucrării. Electrozii se confecţionează frecvent din cupru, alame, aluminiu, grafit şi aliaje metaloceramice (W-Cu, W-Ag, Mo-Cu). Câteva variante constructive de electrozi-sculă folosiţi la prelucrarea orificiilor străpunse sau la prelucrarea cavităţilor prin copiere se prezintă în figura 9.7.

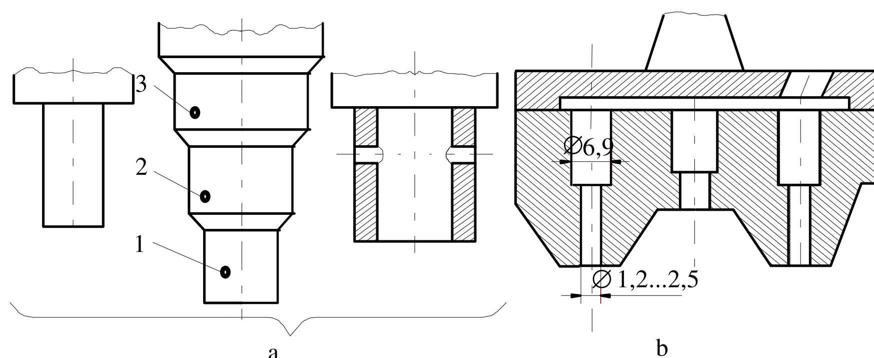


Fig. 9.7. Construcţii caracteristice de electrozi sculă:
a - pentru orificii străpunse; b - pentru cavităţi executate prin copiere; 1- porţiune de degroşare; 2 - porţiune de semifinisare; 3 - porţiune de finisare.

- *aparatura de supraveghere* şi *control* a procesului de prelucrare.

9.2.4. Parametrii regimului de prelucrare

Principalele caracteristici tehnologice la prelucrarea prin electroeroziune sunt: productivitatea prelucrării, calitatea suprafeţei prelucrate, precizia dimensională, uzura relativă volumică a electrodului şi consumul specific de energie.

Valoarea caracteristicilor tehnologice este determinată de o serie de parametri legaţi de piesa-semifabricat (natura materialului, mărimea şi forma suprafeţei, calitatea suprafeţei) şi de parametrii procesului de prelucrare.

Parametrii procesului de prelucrare sunt:

- *parametrii electrici ai impulsurilor* (curent, tensiune, frecvenţă, coeficient de umplere);

- *parametrii mecanici* (legaţi de tipul constructiv al maşinii şi al electrodului-sculă);

- *parametrii electrochimici* (caracteristicile lichidului de lucru).

Ponderea cea mai mare o au parametrii electrici ai impulsurilor. Se constată că productivitatea prelucrării este direct dependentă de energia impulsului electric (fig. 9.8. a), de intensitatea curentului electric *i* (fig. 9.8. b) şi de durata impulsului (fig. 9.8. c). Creşterea curentului este dependentă şi limitată de mărimea suprafeţei de prelucrat, de aceea există un maximum pentru productivitate la o valoare optimă a ariei suprafeţei de prelucrat (fig. 9.8. d).

Rugozitatea suprafeţei prelucrate creşte la mărirea intensităţii curentului (fig.9.9) şi la micşorarea frecvenţei. Deoarece procesul tehnologic cuprinde fazele de degroşare şi finisare, se recomandă ca la degroşare să se folosească intensităţi mari şi frecvenţe mici, iar la finisare, intensităţi mici şi frecvenţe ridicate.

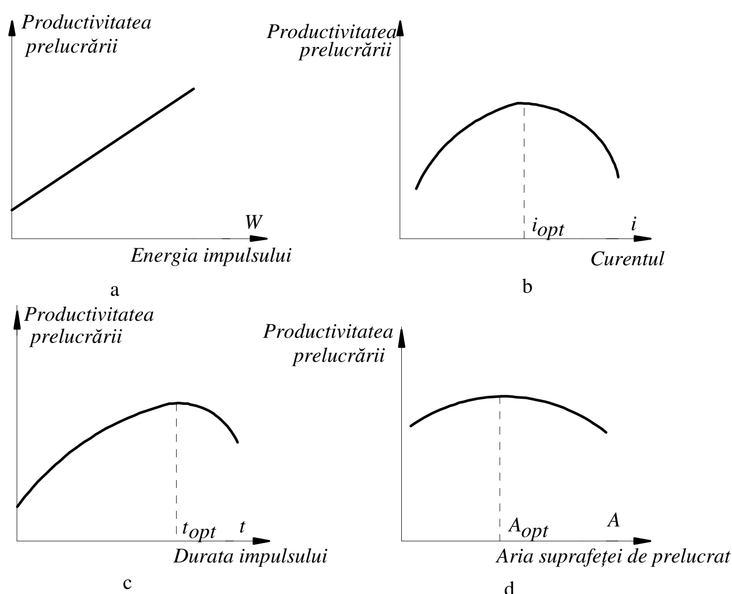


Fig. 9.8. Dependenta cantităţii de material prelevat de:
a - energia impulsului *W*; b - curentul electric, *i*; c - durata impulsului, *t*;
d - aria suprafeţei de prelucrat, *A*.

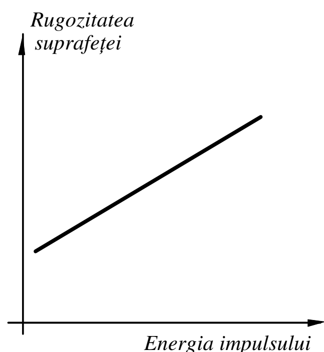


Fig. 9.9. Dependenţa rugozităţii suprafeţei prelucrate de energia impulsului.

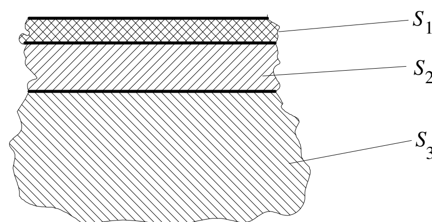


Fig. 9.10. Modificările structurale în suprafaţa prelucrată prin electroeroziune.

În timpul procesului eroziv datorită temperaturilor ridicate ale descărcărilor au loc modificări structurale la suprafaţa piesei-semifabricat. Se constată următoarele zone (fig. 9.10):

- *stratul alb* S_1, cu structură intermediară între martensită şi perlită (culoarea deschisă este datorită decarburării, iar structura intermediară datorită răcirii rapide);

- *substratul alb* S_2, mai bogat în carbon, cu structură apropiată de cea martensitică, datorită răcirii rapide după impuls;

- *stratul de bază* S_3, cu structura nemodificată.

Durităţile medii în cele trei straturi respectă relaţia:

$$H_1 < H_2 > H_3 \ . \qquad (9.2)$$

Precizia dimensională a prelucrării prin electroeroziune este influenţată de trei categorii de factori: factori determinaţi *de utilaj, de proces şi de operator.*

Uzarea electrodului este determinată de procesul de eroziune electrică pe suprafaţa acestuia. În practică se foloseşte noţiunea de *uzură relativă volumică* u_v determinată de raportul dintre cantitatea de material prelevat la suprafaţa electrodului-sculă Q_{es} şi cantitatea de material prelevat la suprafaţa piesei-semifabricat, Q_{ps}.

$$u_v = \frac{Q_{es}}{Q_{ps}} \cdot 100 \ [\%] \ . \qquad (9.3)$$

Pentru reducerea uzurii se folosesc materiale rezistente la eroziune electrică şi se alege o polaritate optimă.

Optimizarea tehnologiei de prelucrare prin electroeroziune se face luând în considerare fiecare caracteristică tehnologică (productivitate, uzură, precizie, rugozitate), urmărindu-se în principal îmbunătăţirea condiţiilor de amorsare şi dezvoltare a sarcinilor electrice. Pentru a se putea acţiona simultan asupra principalilor parametri ai procesului de prelucrare se folosesc calculatoare de proces şi introducerea controlului adaptiv.

9.2.5. Posibilităţile de utilizare a prelucrării prin electroeroziune

Prelucrarea prin electroeroziune se poate aplica la prelucrarea tuturor materialelor electroconductoare. Din considerente economice, procedeul se aplică doar în cazul materialelor neprelucrabile prin alte procedee (metale şi aliaje dure şi extradure, oţeluri refractare, anticorozive, carburi metalice etc.), în cazul suprafeţelor cu geometrii complexe şi la toate categoriile de prelucrări microdimensionale.

Principalele domenii de utilizare sunt (fig. 9.11):

- perforarea orificiilor rotunde sau cu profil oarecare (fig. 9.11. a), care se aplică în construcţia de maşinii şi aparate, scule, lucrări de reparaţii etc.;

- perforarea simultană a orificiilor complexe (fig. 9.11. b), care se aplică la prelucrarea elementelor active ale ştanţelor, diferitelor piese solicitate în aparatura de măsură şi control;

- prelucrarea orificiilor complexe profilate (fig.9.11. c), care se aplică la prelucrarea filierelor şi matriţelor din aliaje dure şi a matriţelor de injectat mase

plastice;

- prelucrarea cavităţilor complexe (fig.9.11. d), care se aplică la execuţia matriţelor pentru forjare, a cochilelor, a sculelor pentru ambutisare, tragere, extrudare etc.

- tăierea şi debitarea materialelor dure şi extradure în forme simple sau complexe (fig.9.11. e);

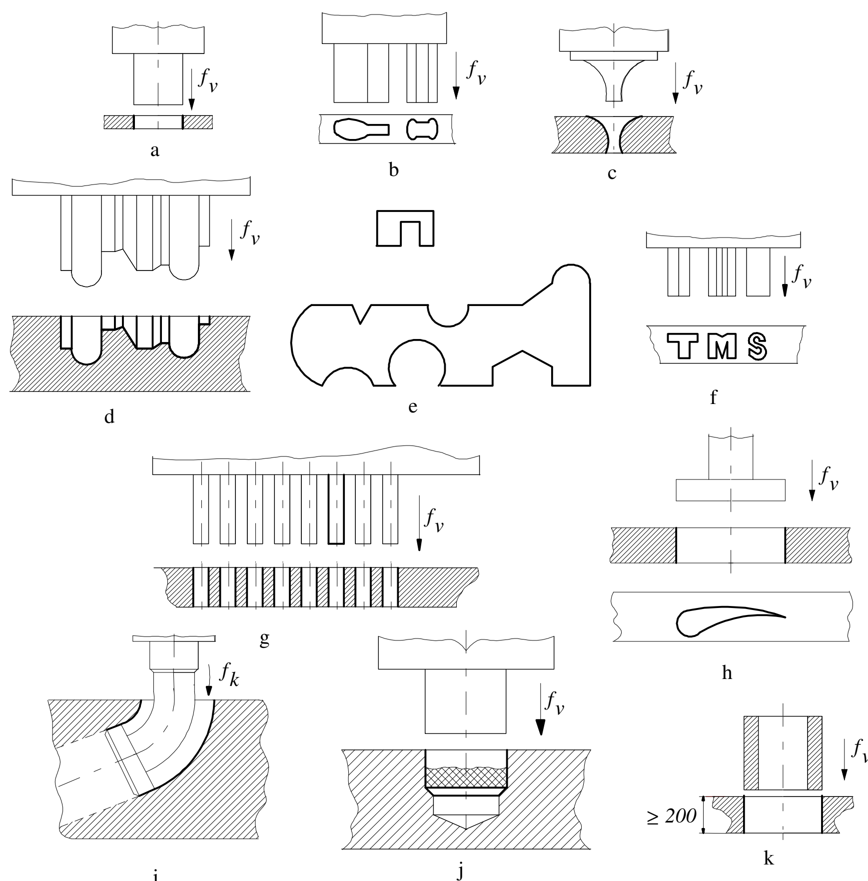


Fig. 9.11. Principalele operaţii de prelucrare prin electroeroziune:
a - orificii simple; b - orificii complexe; c - orificii complexe profilate; d - cavităţi matriţe; e - debitări; f - gravări; g - orificii multiple; h - fante; i - orificii curbilinii; j - îndepărtarea sculelor rupte; k - orificii adânci; f_v; f_k – avansul vertical şi respectiv combinat.

- gravarea inscripţiilor şi mărcilor (fig.9.11. f);

- perforarea simultană a mai multor orificii (fig.9.11. g), care se aplică la prelucrarea filtrelor, sitelor, ecranelor, pieselor electronice;

- prelucrarea fantelor (fig.9.11. h), care se aplică la prelucrarea filtrelor de barbotare, tuburilor pentru drenaj, injectoarelor pentru motoare diesel, orificiilor pentru evacuarea aerului din matrițe etc.

- prelucrarea orificiilor curbilinii (fig.9.11. i), care se aplică la execuția orificiilor de ungere sau de evacuare a gazelor, practicate în locuri greu accesibile;

- îndepărtarea sculelor rupte din găuri (fig.9.11. j), care se aplică în cazul prelucrării unor piese complexe care înmagazinează multă manoperă şi la care, accidental, are loc ruperea sculelor în interiorul orificiilor;

- prelucrarea orificiilor adânci (fig.9.11. k), care se face cu electrod-sculă tubular prin care trebuie să circule dielectricul.

În funcție de seria de fabricație (unicate, serie mică, serie mare sau producție de masă) se utilizează maşini universale de perforare-copiere cu electrozi-sculă corespunzători cu suprafețele ce trebuie prelucrate, maşini specializate şi maşini speciale (de exemplu, pentru prelucrarea paletelor turbinelor hidraulice de tip Pelton).

9.2.6. Variante ale prelucrării prin electroeroziune. Prelucrarea prin electroeroziune cu electrod fir sau bandă

La acest gen de prelucrare, electrodul-sculă are forma unui fir sau a unei benzi, între piesa-semifabricat şi electrodul-sculă existând o mişcare relativă după coordonatele x şi y (fig.9.12). Electrodul-fir sau electrodul-bandă 1 va executa o mişcare verticală cu o viteză v_e, corespunzătoare cu natura materialului de prelucrat

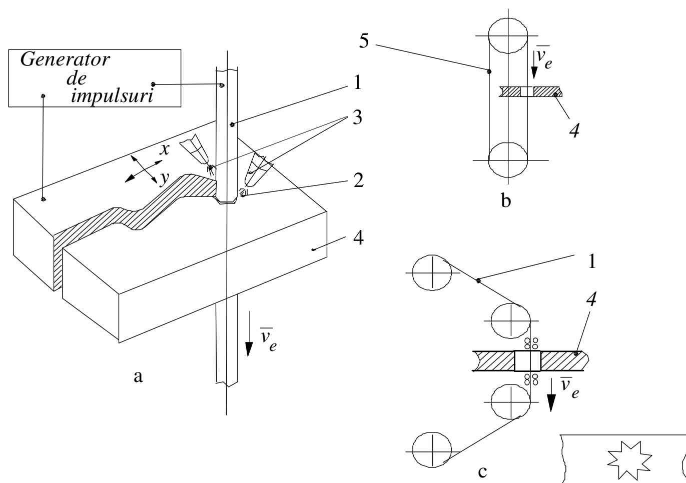


Fig. 9.12. Prelucrarea prin electroeroziune cu electrod filiform:
a - schema de principiu; b - debitare cu electrod bandă; c - debitare după contur cu electrod-fir:
1 - electrod-fir; 2 - lichid dielectric; 3 - ajutaje; 4 - piesa de prelucrat; 5 – electrod-bandă.

şi natura operaţiei (degroşare, finisare), în timp ce lichidul dielectric 2 se introduce în interstiţiu prin ajutajele 3. Electrodul-sculă se confecţionează din sârmă de cupru neizolată de diametre 0,02…0,3 mm.

Utilajul folosit la acest gen de prelucrare se compune din subansamblele normale ale unei maşini de prelucrat prin electroeroziune, dar având şi subansamble specifice: subansamblul de tensionare şi deplasare a electrodului-sculă, sistemul de reglare automată a avansului după două coordonate, sistemul de urmărire a conturului şi calculatorul de proces.

Tehnologia de lucru este identică cu cea de la electroeroziunea normală, numai că trebuie luată în considerare şi viteza de deplasare a electrodului-sculă şi forţa de tensionare a sa.

Procedeul se aplică mai ales la debitarea semifabricatelor din materiale dure şi extradure (fig.9.12. b), tăierea inelelor, a bucşelor, tăierea materialelor magnetice, prelucrarea simultană a orificiilor părţilor active ale ştanţelor, decuparea pieselor electronice de precizie (fig.9.12. c), prelucrarea canalelor deschise etc. Lăţimea minimă a tăierii poate ajunge la 0,02 mm.

9.3. PRELUCRAREA DIMENSIONALĂ PRIN ELECTROCHIMIE

9.3.1. Schema de principiu a procedeului

Procedeul de prelucrare dimensională prin eroziune electrochimică are la bază fenomenul de trecere a materialului ce trebuie prelevat, din piesa-semifabricat de prelucrat, într-o soluţie de electrolit, fenomen cunoscut sub numele de *dizolvare anodică*.

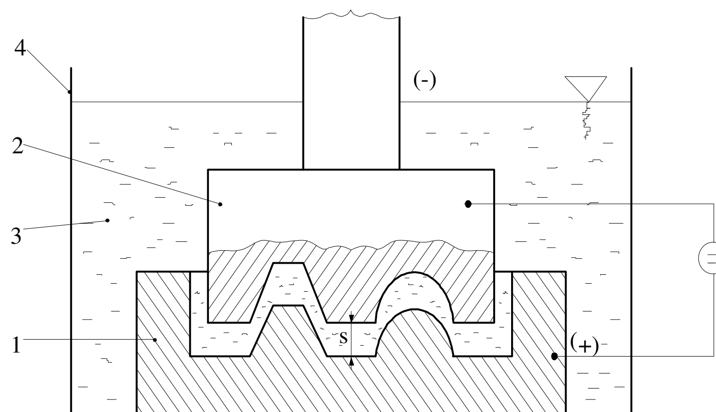


Fig. 9.13. Schema de principiu a prelucrării dimensionale prin electrochimie:
1 - piesa - semifabricat; 2 - electrodul-sculă; 3 - electrolitul; 4 - cuva; s - interstiţiul de prelucrare.

Piesa-semifabricat 1, legată la polul pozitiv, împreună cu electrodul-sculă 2, legat la polul negativ, se introduc într-un electrolit 3, în cuva 4. Schema de principiu a procedeului se prezintă în figura 9.13.

9.3.2. Mecanismul fiziv al prelucrării dimensionale prin electrochimie

Ca urmare a acțiunii curentului electric asupra soluției de electrolit au loc reacțiile:

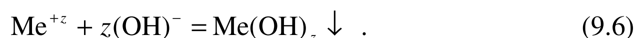


$$H_2O \rightarrow 2H^{+} + OH^{-} \quad (9.4)$$



$$zH^{+} + ze^{-} = \frac{z}{2} H_2 \uparrow \ . \quad (9.5)$$

Ionii metalici Me^{+z}, proveniți de la anod, reacționează cu ionii negativi din soluție, obținându-se în final hidrați metalici de forma - $Me(OH)_z$ şi alți compuşi chimici mai mult sau mai puțin stabili, conform ecuației:



$$Me^{+z} + z(OH)^{-} = Me(OH)_z \downarrow \ . \quad (9.6)$$

În general, la catod (electrodul-sculă) nu au loc depuneri de metal, cum se întâmplă la acoperirile galvanice, deci au loc foarte puține modificări dimensionale ale electrodului-sculă.

Productivitatea prelucrării prin electrochimie se defineşte ca fiind cantitatea de material dizolvată chimic sub acțiunea curentului electric în unitatea de timp. La baza determinării cantității de material dizolvat sub acțiunea curentului electric stau *legile electrolizei* sau *legile lui Faraday*. Conform acestor legi, *masa de metal dizolvat* m_d se determină cu relația:

$$m_d = k \cdot I \cdot t \ \text{[g]} \ , \quad (9.7)$$

în care: $k = A/zF$ este echivalentul electrochimic al substanței, în g/A·s; A - greutatea atomică a elementului supus dizolvării, în grame; z - valența elementului; F = 96 500 este numărul lui Faraday, în A·s; I - intensitatea curentului, în A; t - timpul, în s.

În procesul de electroliză au loc şi o serie de fenomene secundare cum ar fi: *polarizarea electrozilor, pierderile datorate rezistenței electrolitului, reacțiile secundare* şi *formarea peliculelor pasivante.* Ca urmare a acestor fenomene secundare cantitatea de material prelevată efectiv $m_{d_{ef}}$ este mai mică decât cea teoretică:

$$m_{d_{ef}} = m_d \cdot \eta_i = \frac{I \cdot t}{F} \cdot \frac{A}{z} \cdot \eta_i \ \text{[g]} \ , \quad (9.8)$$

în care: η_i este randamentul de curent.

Volumul efectiv de material prelevat V_{ef} se poate calcula cu relația:

$$V_{ef} = \frac{I \cdot t}{F} \cdot \frac{A}{z} \cdot \frac{1}{\gamma_m} \cdot \eta_i \quad [\text{cm}^3] \quad , \tag{9.9}$$

în care γ_m este masa specifică a materialului îndepărtat, în [g/cm^3].

Ținând cont de relațiile:

$$U = R \cdot I \quad [\text{V}] ; \quad \text{şi} \quad R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad [\Omega] \tag{9.10}$$

se obține pentru volumul efectiv relația:

$$V_{ef} = \frac{U \cdot S}{\rho \cdot l} \cdot \frac{t}{F} \cdot \frac{A}{z} \cdot \frac{l}{\gamma_m} \cdot \eta_i \quad [\text{cm}^3] \quad , \tag{9.11}$$

în care: U este căderea de tensiune pe coloana de dectrolit, în V; ρ - rezistivitatea electrolitului, în Ωm; S - secțiunea transversală a coloanei de electrolit, în cm^2; l - lungimea conductorului de electrolit, în cm; I - curentul, în A.

Volumul specific de material prelevat V_s este volumul de material prelevat în timp de o secundă la un curent de un amper şi se calculează cu relația:

$$V_s = \frac{V_{ef}}{I \cdot t} = \frac{A}{z} \cdot \frac{l}{\gamma_m} \cdot \frac{l}{F} \cdot \eta_i \quad [\text{cm}^3/\text{A·s}] \quad . \tag{9.12}$$

Viteza de eroziune electrochimică v_p (viteza de pătrundere a electrodului-sculă) se determină cu ajutorul volumului specific de material prelevat:

$$v_p = V_s \cdot j \quad [\text{cm/s}] \quad , \tag{9.13}$$

în care j este densitatea de curent, în A/cm^2.

În urma procesului de electroliză, pe suprafața piesei-semifabricat de prelucrat, se formează o *peliculă pasivizatoare* care împiedică desfăşurarea procesului în continuare, dacă nu este îndepărtată. După modul în care se desfăşoară îndepărtarea acestei pelicule pasivizatoare, deci şi a produselor eroziunii electrochimice (microparticule de material), se deosebesc următoarele metode de prelucrare prin eroziune electrochimică:

- *cu depasivare naturală,* la care produsele eroziunii se îndepărtează datorită forțelor rezultate în procesul de degajare al gazelor în timpul formării peliculei pasive. Pe suprafața cu microneregularități a piesei-semifabricat se formează o peliculă vâscoasă pasivizatoare dispusă paralel cu suprafața anodului şi care are grosimea mai mare în adâncituri decât pe vârfurile microneregularităților (fig.9.14.). Dizolvarea metalului şi deci prelevarea va începe în regiunea vârfurilor microneregularităților, datorită concentrației de câmp electric în această zonă.

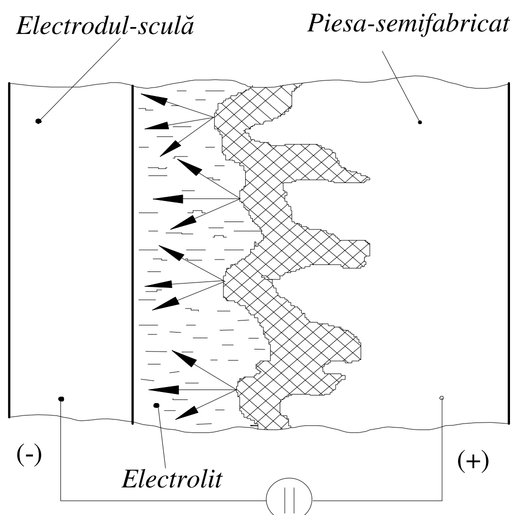


Fig. 9.14. Schema de principiu a prelucrării dimensionale prin electrochimie cu depasivare naturală.

În acest caz, electrozii-sculă se confecţionează din materiale electroconductoare rezistente la agenţii chimici şi se plasează la o distanţă de 40…100 mm de suprafaţa de prelucrat. Se folosesc electroliţi acizi, bazici sau neutrii, calzi sau reci, în funcţie de natura materialului de prelucrat.

Alimentarea cu curent electric se face cu generatoare de curent continuu de putere relativ mică şi cu tensiuni de 6…12 V. Intensitatea curentului electric se alege în funcţie de mărimea suprafeţei de prelucrat şi de densitatea de curent admisibilă (5…25 A/dm^2 – în cazul electroliţilor reci şi 40…200 A/dm^2 – în cazul electroliţilor calzi). Metoda se aplică în cazul lustruirii electrochimice, pentru obţinerea de suprafeţe cu rugozitate foarte bună;

- *cu depasivare hidrodinamică,* la care îndepărtarea peliculei pasivizatoare se face prin acţiunea mecanică a unui electrolit introdus cu presiune ridicată între electrodul-sculă şi piesa-semifabricat. Electrodul-sculă nu este în contact cu suprafaţa de prelucrat şi este parţial supus acţiunii electrolitului. El are rolul de a transporta energia electrică în zona de prelucrare şi de a materializa forma geometrică a suprafeţei de prelucrat.

În timpul prelucrării, electrolitul este dirijat în spaţiul dintre electrozi cu viteza de 27...55 cm/s, la presiuni de 7…14 daN/cm^2 (uneori chiar 24…28 daN/cm^2). Un debit mare de electrolit cu presiune ridicată previne atât încălzirea excesivă a lui, cât şi fenomenul de polarizare al electrozilor, ducând în final la creşterea cantităţii de material prelevat.

Cele mai utilizate soluţii pentru electroliţi sunt soluţiile apoase de clorură de sodiu cu adaosuri de acid boric sau soluţiile apoase de fluoruri şi acid fluorhidric.

La acest gen de prelucrare, cantitatea de material dizolvat depinde de presiunea şi viteza de curgere a electrolitului, densitatea de curent şi timpul de acțiune al curentului electric.

Metoda se aplică la prelucrarea materialelor electroconductoare dure şi foarte dure, cu proprietăți termofizice superioare, la piese cu o configurație complexă şi unde este necesară o productivitate ridicată. Nu se pot obține piese cu muchii ascuțite;

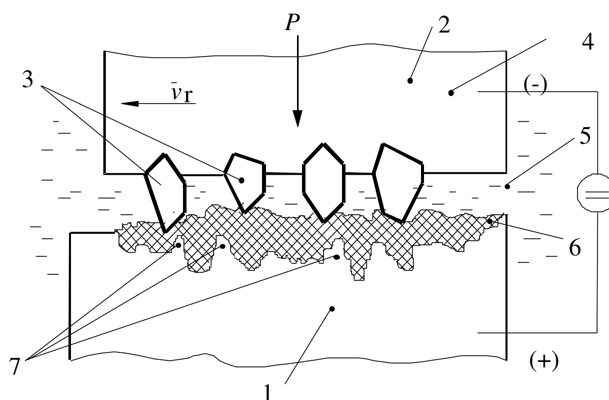


Fig. 9.15. Schema de principiu a prelucrării dimensionale prin electrochimie cu depasivare abrazivă: 1 - piesa -semifabricat; 2 - electrodul-sculă; 3 - granule abrazive; 4 - masă electroconductoare; 5 - electrolit; 6 - peliculă pasivizatoare; 7 - microasperități.

- *cu depasivare abrazivă,* la care îndepărtarea peliculei pasivizatoare se face prin acțiunea mecanică a unor granule abrazive. Între piesa-semifabricat 1 şi electrodul-sculă 2 există o presiune de contact p şi o mişcare v_r. Electrodul-sculă este format din granule abrazive 3 împregnate într-o masă electroconductoare 4 (de exemplu grafit) şi un liant (bachelita). El se leagă la polul negativ al unei surse de curent continuu şi are mişcare relativă în raport cu piesa-semifabricat (fig.9.15).

În spațiul dintre cei doi electrozi este adus electrolitul 5, care participă împreună cu granulele abrazive la îndepărtarea peliculei pasivizatoare 6, în primul rând de pe vârfurile microasperităților 7.

Metoda permite obținerea de productivități mari (până la 300…500 mm^3/ min, la secțiuni de 1 cm^2), cu o rugozitate a suprafeței foarte bună (R_a = 0,05…0,2 μm) şi o precizie dimensională mare.

9.3.3. Utilaje folosite la prin electrochimie

Maşinile de prelucrat dimensional prin electrochimie se pot clasifica după mai multe criterii. Ele pot fi: universale, speciale sau specializate, cu presiune joasă sau înaltă a electrolitului, de putere mică, mijlocie sau mare, prevăzute cu un singur

post sau cu mai multe posturi de lucru, cu capul de lucru vertical, orizontal sau combinat etc.

Indiferent de tipul constructiv, schema de principiu a unei instalaţii de prelucrat dimensional prin electrochimie se prezintă în figura 9.16. Piesa-semifabricat de prelucrat 1, conectată la polul pozitiv al generatorului de curent continuu 2, este cufundată în electrolitul 3, din cuva 5, împreună cu electrodul-sculă 4, legat la polul negativ al sursei de curent. Pentru reglarea distanței şi pentru menținerea la valori corespunzătoare a distanței dintre electrodul-sculă şi piesa-semifabricat, în timpul prelucrării, maşina dispune de un regulator de avans 6. Pentru răcirea forțată a sculei şi pentru depasivare, se folosesc instalații de recirculare - răcire - filtrare a electrolitului construite în funcție de modul cum se realizează depasivarea. În general aceste instalații sunt formate din pompa 7, filtrul 8, rezervorul de electrolit 9, în care se găseşte electrolitul proaspăt 10, şi dispozitivul de răcire 11.

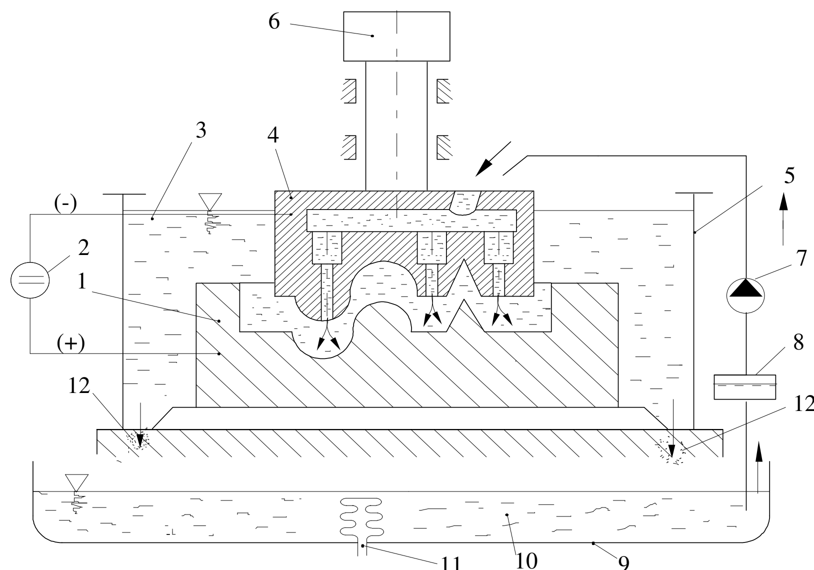


Fig. 9.16. Schema de principiu a unei instalații de prelucrare dimensională prin electrochimie cu cap vertical:
1 - piesa de prelucrat; 2 - sursa de curent; 3 - electrolitul; 4 - electrodul-sculă; 5 - cuva; 6 - regulatorul de avans; 7 - pompa; 8 - filtrul; 9 - rezervorul de electrolit; 10 - electrolitul proaspăt; 11 - dispozitivul de răcire; 12 – microaşchiile îndepărtate.

Ca surse de curent se folosesc generatoarele sau redresoarele de curent continuu cu tensiuni de 5…24 V şi curenți de până la 50 000 A. Electrozii-sculă se confecționează din materiale electroconductoare rezistente la agenții corozivi (aliaje speciale anticorozive, alamă, cupru, oțeluri inoxidabile, bronzuri, aluminiu

şi aliajele sale etc.). Electrolitul se alege în funcţie de natura materialului de prelucrat, de specificul prelucrării (degroşare, semifinisare, finisare) şi în funcţie de modul cum se realizează depasivarea. Cel mai des se utilizează soluţia de NaCl în apă, hidrat de sodiu în apă (pentru prelucrarea aluminiului şi a aliajelor sale), acizi sulfurici, ortofosforici, fluorhidrici în apă (pentru lustruiri) etc.

Pentru a reduce la maximum posibil abaterea profilului suprafeţei prelucrate de la forma electrodului-sculă se iau măsuri de izolare a zonei electrodului-sculă care nu trebuie să participe la eroziunea anodului.

9.3.4. Parametri regimului de prelucrare

La prelucrarea dimensională prin electrochimie, principalele caracteristici ale procesului tehnologic sunt: productivitatea prelucrării, calitatea suprafeţei prelucrate, precizia dimensională, uzura relativă volumică a electrodului-sculă şi consumul specific de energie.

Valoarea caracteristicilor tehnologice de mai sus este determinată de o serie de parametrii ai procesului de prelucrare, ca: mărimea şi forma suprafeţei de prelucrat, rugozitatea suprafeţei de prelucrat, intensitatea, tensiunea şi frecvenţa curentului electric, modul cum se face depasivarea, natura electrolitului folosit, forma geometrică a electrodului-sculă.

Productivitatea prelucrării este dependentă de: densitatea de curent, natura electrolitului, echivalentul electrochimic al materialului de prelucrat şi timpul de acţiune a curentului, nedepinzând de duritatea, tenacitatea sau densitatea materialului.

Rugozitatea suprafeţei prelucrate depinde direct de rugozitatea suprafeţei iniţiale. Cu cât este mai mică rugozitatea iniţială, cu atât este mai mică rugozitatea suprafeţei prelucrate.

Precizia dimensională şi geometrică a piesei-semifabricat supusă prelucrării depinde de precizia de prelucrare a electrodului-sculă şi de precizia formei sale geometrice.

9.3.5. Posibilităţile de utilizare a prelucrării dimensionale prin electrochimie

Prelucrarea dimensională prin electrochimie se aplică pieselor confecţionate din materiale dure şi extradure electroconductoare şi cu proprietăţi termofizice deosebite, neeconomic a fi prelucrate prin alte procedee.

Operaţiile cele mai frecvent executate prin acest procedeu sunt (fig.9.17):

- *lustruirea electrochimică* (fig.9.17. a), pentru curăţirea de oxizi metalici (ţunder), lustruirea suprafeţelor metalice la piesele fasonate (supape, clapete, piese de racordare, armături diferite, sârme, benzi etc);

- *prelucrarea suprafeţelor plane* (fig.9.17. b);

- *strunjirea exterioară* (fig.9.17. c) şi *interioară* (fig.9.17. d);

- *prelucrarea suprafeţelor complexe de tipul paletelor de turbină* (fig.9.17. e) *cavităţilor matriţelor, cochilelor* etc;

- *găurirea* (fig.9.17. f);

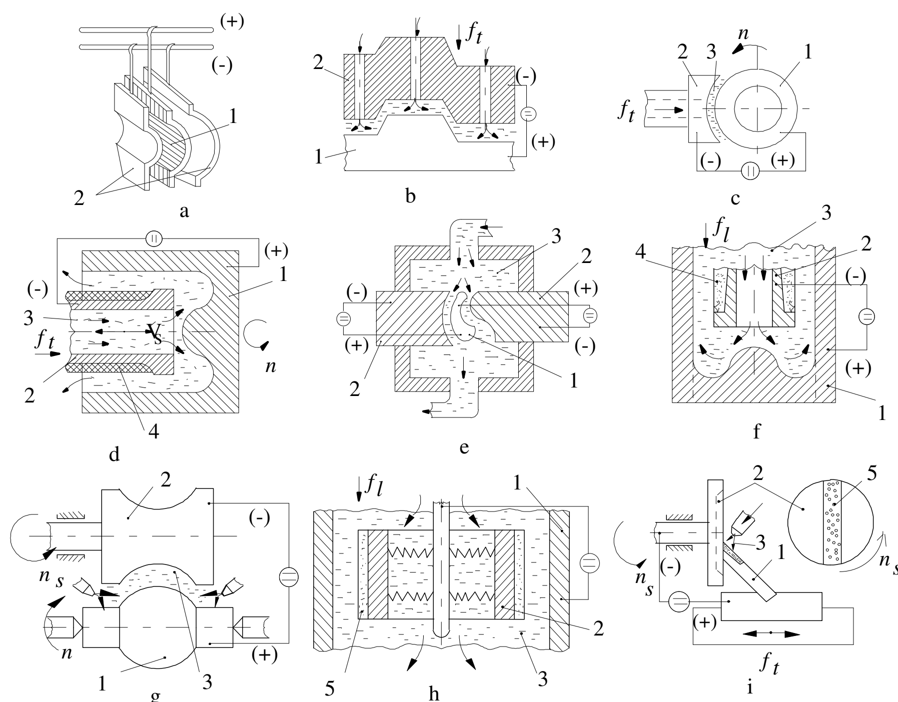


Fig. 9.17. Cele mai frecvente operaţii de prelucrare dimensională prin electrochimie: a - lustruirea şi fasonarea; b - prelucrarea suprafeţelor plane; c - strunjirea exterioară electrochimică; d - strunjirea interioară electrochimică; e - prelucrarea pieselor complexe de tipul paletelor de turbină; f - găurirea electrochimică; g - rectificarea electrochimică; h - honuirea electrochimică; i - ascuţirea sculelor aşchietoare armate cu plăcuţe din carburi metalice:1 - piesa-semifabricat; 2 - electrodul-sculă; 3 - electrolitul; 4 - izolaţie; 5 - barete abrazive; *n* – turaţia piesei – semifabricat; n_s – turaţia sculei; f_t – avans transversal; f_l – avans vertical.

- *rectificarea suprafeţelor simple sau profilate* (fig.9.17. g) *exterioare sau interioare;*

- *honuirea electrochimică* (fig.9.17. h);

- *ascuţirea sculelor aşchietoare armate cu plăcuţe din carburi metalice* (fig.9.17.i).

Procedeul este limitat ca aplicaţii datorită imposibilităţii executării muchiilor ascuţite, precum şi necesităţii numărului mare de experimentări pentru determinarea formei geometrice a electrodului-sculă, mai ales la prelucrarea supra-

fețelor complexe.

9.3.6. Variante ale prelucrării prin electrochimie. Prelucrarea prin eroziune chimică

Procedeul are la bază *atacul suprafeței de prelucrat cu o substanță chimic activă.* Operația se realizează prin introducerea suprafeței de prelucrat în soluții speciale (de obicei soluții sodice). Compoziția chimică a substanței de atac depinde de natura materialului de prelucrat, precum şi de cantitatea de material ce trebuie îndepărtată.

Randamentul prelucrării prin eroziune chimică depinde de următorii factori: compoziția chimică a electrolitului, temperatura băii în care se face prelucrarea, compoziția chimică a materialului din care este confecționată piesa-semifabricat supusă prelucrării, structura cristalină a materialului (deoarece atacul se produce la limita de separare a cristalelor).

Precizia de prelucrare este condiționată de oprirea la timp a eroziunii chimice.

Procedeul se aplică mai ales la prelucrarea pieselor de tipul plăcilor, benzilor, platbenzilor, tablelor prin gravare, prelucrarea unor profile, găurirea străpunsă sau nestrăpunsă în materiale pe bază de Ni, Ti, W, Mo, de imprimare a unor canale în piese confecționate din diferite materiale cu aplicații directe în industria electronică la circuitele imprimate, la confecționarea grilelor fine, la confecționarea unor filtre fine. Se pot prelucra şi piese turnate sau forjate.

Procedeul permite prelucrarea unor cavități complexe, în trepte, de dimensiuni foarte mici şi cu precizie mare. De exemplu, pentru prelucrarea unei cavități în trepte se parcurg etapele prezentate în figura 9.18, zonele care nu se prelucrează în etapa respectivă acoperindu-se cu o mască de material plastic rezistent la agenții corozivi.

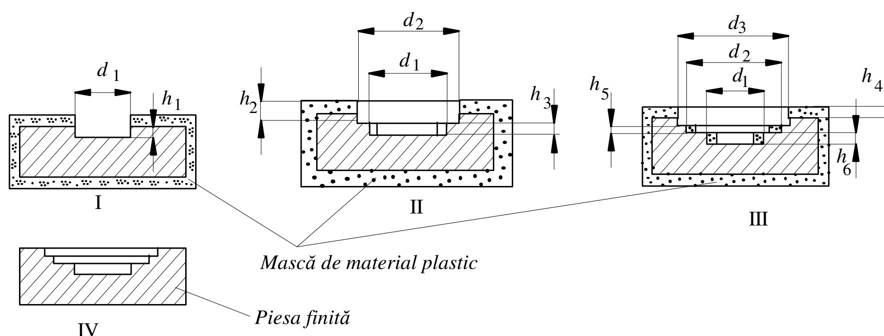


Fig. 9.18. Prelucrarea prin eroziune chimică:
I, II, III - etape ale prelucrării; IV - stadiul final; d_1, d_2, d_3 – diametrele finale ale prelucrărilor.

Se pot realiza îndepărtări de straturi de material cu grosimea minimă de 0,013…0,025 mm şi precizii dimensionale de ± 0,025…± 0,05 mm, în aliaje de aluminiu, magneziu sau oţeluri inoxidabile şi termorezistente.

9.4. PRELUCRAREA DIMENSIONALĂ PRIN EROZIUNE COMPLEXĂ (PRELUCRAREA ANODO-MECANICĂ)

9.4.1. Schema de principiu a procedeului

La acest procedeu de prelucrare îndepărtarea materialului de pe suprafaţa de prelucrat este o consecinţă a acţiunii simultane a dizolvării anodice şi a descărcărilor electrice prin impulsuri nedirijate, cvasistaţionare, care au loc la nivelul microasperităţilor, între electrodul-sculă şi piesa-semifabricat, aduse în contact.

Schema de principiu a procedeului se prezintă în figura 9.19. Piesa-semifabricat 1, împreună cu electrodul-sculă 2, sunt scufundate într-un electrolit 3, fiind legate la o sursă de curent. Deoarece sub acţiunea curentului electric în mediul de electrolit are loc procesul de dizolvare anodică, cu formarea pe piesa-semifabricat a peliculei pasivizatoare, este necesară existenţa unei mişcări relative v_r între electrodul-sculă şi piesa-semifabricat.

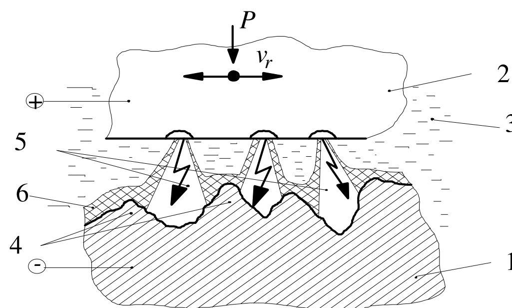


Fig. 9.19. Schema de principiu la prelucrarea dimensională prin eroziune complexă:
1 - piesa -semifabricat; 2 - electrodul - sculă; 3 - electolit; 4 - microasperităţi; 5 - microdescărcări;
6 - pelicula pasivizatoare; v_r – viteza relativă a electrodului-sculă faţă de piesa semifabricat.

9.4.2. Mecanismul fizic al prelucrării anodo-mecanice

Fenomenele care au loc în cadrul acestui procedeu sunt o combinaţie a fenomenelor întâlnite la prelucrarea prin electroeroziune şi prin electrochimie. Prelevarea materialului din suprafaţa de prelucrat se bazează pe *acţiunea combinată a descărcărilor electrice în arc nestaţionar, dizolvarea anodică şi*

ruperea contactelor electrice stabilite temporar între piesa de prelucrat şi electrodul-sculă. Deoarece piesa de prelucrat şi electrodul-sculă sunt în contact şi parcurse de curent, conform legii Joule-Lentz, are loc o degajare de căldură Q, dată de relația:

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t \quad [\mathrm{J}] \ , \qquad (9.14)$$

în care: R este rezistența electrică a celor două piese în contact; I - intensitatea curentului electric; t - timpul de acționare al curentului.

Această cantitate de căldură conduce la o încălzire suficientă a microneregularităților 4 (fig. 9.20) în contact, care, dacă sunt într-o mişcare relativă, provoacă descărcări în arcul de rupere 5. Datorită efectelor termice are loc şi descompunerea electrolitului, care împreună cu produsele dizolvării anodice concură la formarea peliculei pasivizatoare 6, ce împiedică desfăşurarea procesului în continuare.

Mişcarea relativă dintre electrodul-sculă şi piesa-semifabricat rupe pelicula pasivantă de pe vârful microneregularităților, reactivând descărcările electrice în noi zone ale suprafeței de prelucrat, asigurând continuarea procesului de prelevare a materialului.

Prin urmare, la îndepărtarea materialului de pe suprafața de prelucrat participă *acțiunea electrochimică* (dizolvarea anodică), *acțiunea electroerozivă* datorită contactului dintre electrodul-sculă şi piesa-semifabricat, *acțiunea termică* datorită descărcărilor electrice şi *acțiunea mecanică* de îndepărtare a particulelor de material.

După modul de alegere al parametrilor electrici poate predomina fie procesul electrochimic, fie procesul electroeroziv.

Dacă puterea specifică introdusă în spațiul de lucru este mică, prelevarea de material are loc în special datorită fenomenului de dizolvare anodică, caz în care productivitatea este mică, dar precizia de prelucrare este mare şi rugozitatea suprafeței este mică.

Dacă puterea specifică introdusă în spațiul de lucru este mare, prelevarea de material are loc aproape exclusiv datorită procesului termic al descărcărilor electrice, caz în care productivitatea este mare, dar precizia dimensională şi calitatea suprafeței sunt inferioare.

9.4.3. Utilajul folosit la prelucrarea dimensională prin eroziune complexă

Din punct de vedere constructiv, maşinile folosite la prelucrarea dimensională anodo-mecanică, nu diferă substanțial de maşinile de prelucrat prin electroeroziune sau electrochimie.Toate deosebirile decurg din faptul că trebuie realizată mişcarea relativă dintre electrodul-sculă şi piesa-semifabricat, mişcare ce rezultă din forma geometrică a suprafeței ce trebuie generată.

Ca surse de alimentare cu curent se folosesc generatoare sau redresoare. Pentru realizarea presiunii de contact între piesa de prelucrat şi electrodul-sculă maşinile au un mecanism de avans, cu acţionare automată.

Electrozii-sculă au forme geometrice corespunzătoare cu forma geometrică a suprafeţei ce trebuie generată, cu natura operaţiei ce trebuie efectuată (de degroşare, de semifinisare sau de finisare) şi cu tipul operaţiei (debitare, ascuţirea sculelor aşchietoare, strunjire, rectificare etc.). Se confecţionează din fontă, oţel, cupru şi aliaje de cupru etc.

Ca mediu de lucru se utilizează soluţiile coloidale de silicat de sodiu sau silicat de aluminiu, suspensiile de caolin în apă şi altele, prin urmare sistemul de recirculare-răcire-filtrare diferă de cel de la maşinile de prelucrat prin electroeroziune sau electrochimie.

În funcţie de natura prelucrării şi tipul suprafeţei ce trebuie generată, partea mecanică a maşinilor folosite la prelucrarea prin eroziune complexă realizează fie mişcarea piesei-semifabricat, fie mişcarea electrodului-sculă, fie a ambelor.

9.4.4. Parametrii regimului de prelucrare

Caracteristicile tehnologice specifice acestui gen de prelucrare sunt aceleaşi ca la prelucrarea prin electroeroziune sau electrochimie: productivitatea prelucrării, calitatea suprafeţei, precizia dimensională, uzura relativă volumică a electrodului-sculă şi consumul specific de energie.

Procesul de prelucrare dimensională prin eroziune complexă este influenţat de: parametrii electrici (tensiunea şi intensitatea curentului, forma şi frecvenţa impulsurilor), parametrii mecanici (viteza relativă dintre electrodul-sculă şi piesa-semifabricat, presiunea specifică de contact) şi natura electrolitului folosit (compoziţia chimică şi densitatea).

Alegerea parametrilor procesului de prelucrare se face în mod analog ca la prelucrarea prin electroeroziune sau electrochimie, ţinând cont de faptul că unul dintre ele trebuie să predomine în anumite stadii ale prelucrării (electroeroziune – în faza de degroşare şi electrochimia – în faza de finisare).

9.4.5. Posibilităţi de utilizare a prelucrării dimensionale prin eroziune complexă

Deoarece procedeul asigură o calitate foarte bună a suprafeţelor prelucrate se utilizează, mai ales, pentru prelucrările de finisare a unor materiale dure şi extradure, electroconductoare imposibil sau foarte greu prelucrabile prin alte procedee.

Cele mai frecvente utilizări ale procedeului sunt (fig.9.20):

- strunjirea oţelurilor refractare şi inoxidabile, dure şi extradure (fig.9.20. a);

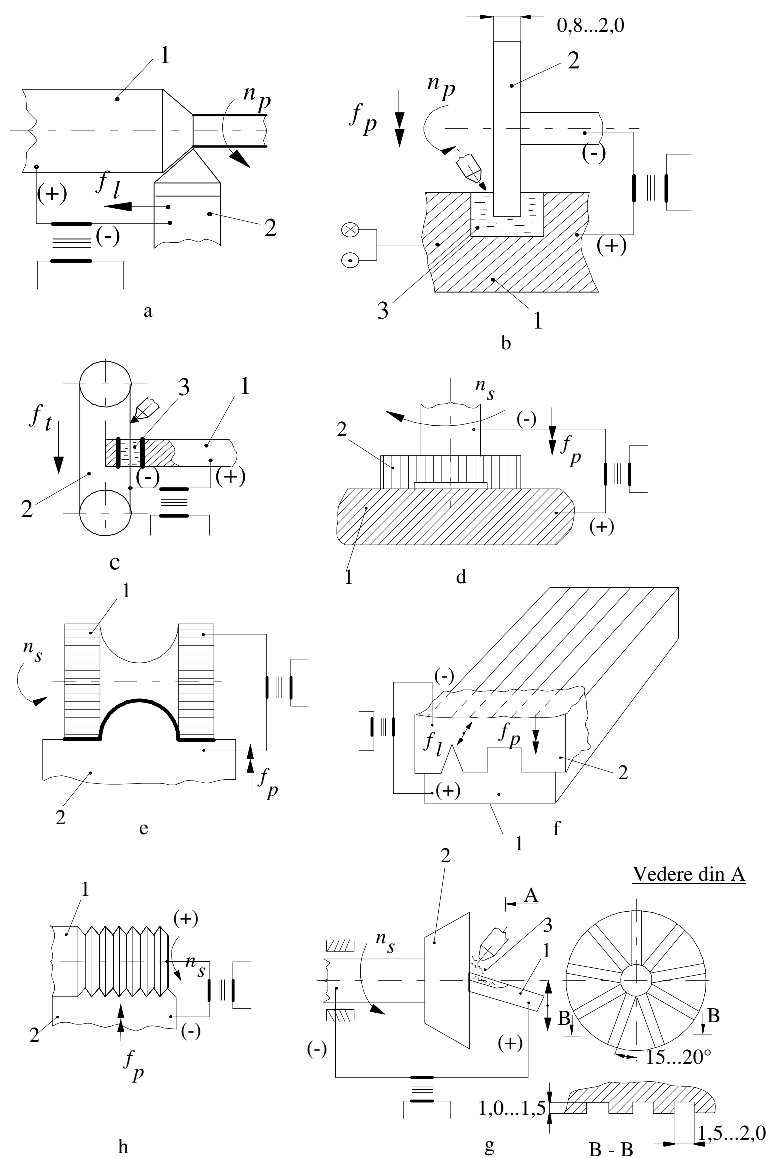


Fig.9.20. Operaţii de prelucrare dimensională anodo-mecanică:
1- piesa semifabricat; 2 – electrodul-sculă; 3 - electrolitul; a - strunjirea ; b - debitarea cu disc; c - debitarea cu electrod - bandă; d - rectificarea suprafeţelor plane; e - rectificarea suprafeţelor profilate; f - netezirea suprafeţelor plane şi profilate; g - ascuţirea sculelor aşchietoare; h – filetarea; 1 - piesa de prelucrat; 2 - electordul-sculă; $n(v_c)$ – turaţia electrodului-sculă sau a piesei-semifabricat (viteza mişcării principale de aşchiere); f_l; f_t; f_p – avansul longitudinal şi respectiv transversal sau de pătrundere.

- tăierea şi debitarea cu disc (fig.9.20. b.) sau cu electrod bandă (fig.9.20. c);
- rectificarea suprafeţelor plane (fig.9.20. d) şi profilate (fig.9.20. e);
- netezirea suprafeţelor plane şi profilate (fig. 9.20. f);
- ascuţirea sculelor aşchietoare: cuţite, freze, plăcuţe din aliaje dure etc. (fig.9.20. g);
- prelucrarea cu scule profilate a aliajelor dure şi extradure (fig. 9.20. h).

9.5. PRELUCRAREA DIMENSIONALĂ PRIN EROZIUNE CU ULTRASUNETE

9.5.1. Schema de principiu a procedeului

Ultrasunetele sunt vibraţii mecanice cu frecvenţa începând de la 16 kHz (limita maximă audibilă a unui om otologic normal), până la 10^{13} Hz (hipersunete). Numeroasele aplicaţii ale ultrasunetelor în diferitele ramuri ale tehnicii sunt datorate efectelor produse de acestea, ca urmare a proprietăţilor pe care le posedă: lungime de undă relativ mică, acceleraţie a particulei foarte mare putând atinge de 10^5 ori acceleraţia gravitaţională, posibilitatea de concentrare şi focalizare a energiei acustice într-un spaţiu limitat, posibilitatea de dirijare a unui fascicul ultrasonic îngust în direcţia dorită, fenomene legate de propagarea lor în diferite medii, printre care de mare importanţă este cavitaţia acustică.

După modul în care energia ultrasonoră intervine în diferitele procese tehnologice în care este folosită, aplicaţiile ultrasunetelor se împart în două mari grupe:

- *aplicaţii pasive,* în care ultrasunetele de intensităţi relativ scăzute nu au puterea să producă modificări în structura mediului în care sunt introduse având doar rolul unui agent fizic care culege informaţii referitoare la proprietăţile, calitatea şi dimensiunile substanţei examinate (controlul nedistructiv cu ultrasunete, măsurări de proprietăţi fizico-mecanice şi fizico-chimice, măsurări de parametri în medii cu care nu se poate veni în contact direct, cum ar fi măsurătorile în reactoarele nucleare, măsurări de debite şi viteze de fluide sau gaze în conducte înglobate, diagnosticul cu ultrasunete etc.);
- *aplicaţii active,* în care energia ultrasonoră folosită este suficient de mare pentru a produce modificări uneori substanţiale în structura mediului în care este introdusă, ultrasunetele îndeplinind în acest caz rolul unei unelte care efectuează lucrul mecanic sau al unui agent catalizator sau intensificator al procesului respectiv (de exemplu: prelucrarea dimensională în câmp ultrasonor, deformarea plastică în câmp ultrasonor, sudarea în câmp ultrasonor, curăţirea cu ultrasunete, intensificarea proceselor de aşchiere cu ultrasunete, intensificarea proceselor chimice folosind energia ultrasonoră etc.);

Prelucrarea dimensională cu ultrasunete (găurirea, profilarea, gravarea, perforarea, debitarea etc.) se bazează în principal pe acţiunea unor procese de eroziune abrazivă şi *limitat-cavitaţională*, dezvoltate în urma transmiterii energiei cinetice a sculei ce vibrează cu frecvenţă ultrasonoră, unor particule de abraziv aflate în suspensie în focarul de prelucrare.

În funcţie de cinematica de generare a suprafeţelor s-au impus două scheme de prelucrare dimensională prin erodare cu ultrasunete: *prelucrarea cu suspensie abrazivă* (fig.9.21. a) şi *prelucrarea fără suspensie abrazivă* (fig.9.21. b). La primul procedeu, între suprafeţele de prelucrat ale piesei 1 şi suprafaţa activă a sculei 2, fixată în vârful sistemului ultraacustic 3 şi activată ultrasonic, se introduce o suspensie abrazivă 4. Scula este apăsată pe suprafaţa de prelucrat cu o presiune de 0,5…4,5 daN/cm^2, vibrează cu o frecvenţă de 18…30 kHz şi cu amplitudini de 5…120 μm.

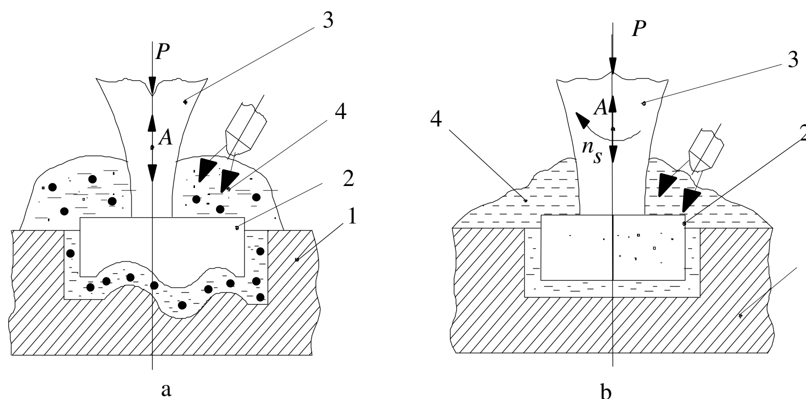


Fig. 9.21. Schema de principiu la prelucrarea dimensională cu ultrasunete:
a - cu suspensie abrazivă; b - fără suspensie abrazivă şi cu bloc ultrasonic rotitor:
1 - piesa-semifabricat; 2 - scula; 3 - concentratorul de energie ultrasonică; 4 - suspensie abrazivă;
P – forţa de apăsare; n_s – turaţia sculei; *A* – amplitudinea vitezei particulei.

În focarul de prelucrare este adusă în permanenţă o suspensie abrazivă în apă, ce joacă rolul agentului de eroziune. Cele mai des utilizate materiale abrazive sunt carbura de siliciu (SIC), carbura de bor (B_4C), iar la prelucrarea diamantului, particulele abrazive sunt tot din diamant, deoarece duritatea particulelor trebuie să fie mai mare sau egală cu cea a materialului de prelucrat. Concentraţia în greutate a suspensiei abrazive este de circa 50% .

La prelucrarea fără suspensie abrazivă se foloseşte acţiunea de erodare pe care poate să o aibă o sculă ce vibrează cu frecvenţă ultrasonoră (fig.9.21. b). Pentru a avea acest rol, scula 2 este împregnată cu praf de diamant, iar între piesa-semifabricat de prelucrat 1 şi scula 2 există o mişcare relativă. În spaţiul de lucru se aduce în permanenţă un lichid acustic 4, care are rol de răcire-spălare-transport

substanță erodată. Condițiile prelucrării în acest caz sunt schimbate, în sensul că amplitudinea de vibrație nu poate depăşi 15 μm, pentru a nu periclita scula, presiunea dintre piesă şi sculă este mai mare putând ajunge până la 30 daN /cm^2. Pentru a creşte productivitatea, scula vibrează cu o frecvență de 20…30 kHz, iar blocul ultrasonic se roteşte cu o turație medie de 2 000 rot/min.

9.5.2. Mecanismul fizic al prelucrării dimensionale cu ultrasunete

Majoritatea cercetărilor efectuate au pus în evidență faptul că distrugerea materialului la prelucrarea dimensională cu ultrasunete este rezultatul, în cea mai mare parte, a acțiunii undei de şoc a sculei asupra particulelor abrazive însoțită de următoarele fenomene: izbirea piesei de către granulele abrazive cu energie cinetică ridicată, ciocănirea granulelor aflate între sculă şi piesă, cavitația acustică şi coroziunea chimică.

Distrugerea materialului şi desprinderea lui de pe suprafața piesei de prelucrat 1 (fig. 9.22) se produce atunci când scula 2 loveşte una sau mai multe granule abrazive 3, care în momentul lovirii sunt aşezate încât au o înălțime maximă. Ca urmare a acțiunii de şoc, se amorsează fisuri atât pe suprafața piesei de prelucrat, cât şi pe suprafața sculei. Ca urmare a fenomenului de cavitație acustică dezvoltată în lichidul acustic 6 are loc desprinderea de material 4, din suprafața de prelucrat şi din scula 5 (într-o mai mică măsură).

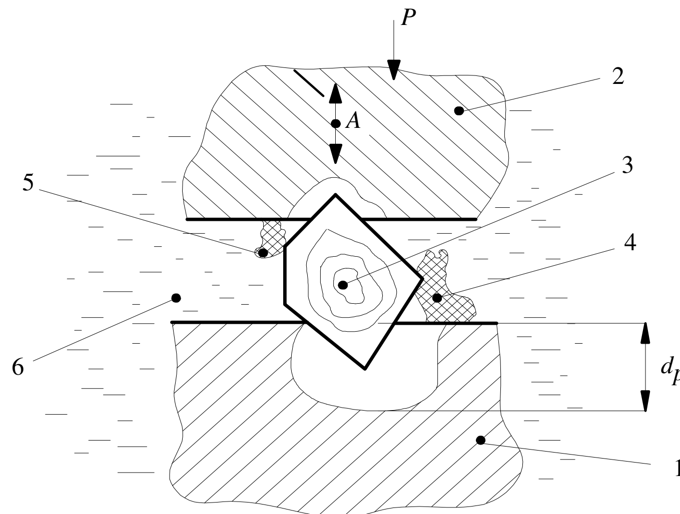


Fig. 9.22. Mecanismul prelucrării dimensionale în câmp ultrasonor:
1 - piesa - semifabricat; 2 - scula; 3 - granula abrazivă; 4 - microparticule desprinse de pe suprafața de prelucrare; 5 - microparticule desprinse de pe suprafața sculei; 6 - suspensie abrazivă;
A – amplitudinea de vibrație.

Explicarea mecanismului desprinderii de microparticule materiale, porneşte de la două idei de bază:

- scula, care oscilează cu frecvenţă ultrasonoră, acţionează asupra granulelor abrazive prin crearea unor acceleraţii foarte mari, producându-se acţiunea de şoc a granulelor asupra suprafeţei de prelucrat;
- scula oscilantă acţionează prin şocuri directe asupra granulelor care produc îndesarea sau înfigerea lor în suprafaţa de prelucrat.

Energia cinetică E_a, pe care o primeşte o granulă abrazivă de diametrul mediu este de forma:

$$E_a = \frac{\pi^3}{12} \cdot \rho_a \cdot d_a^3 \cdot A^2 \cdot f^2 \quad , \tag{9.15}$$

în care: ρ_a este densitatea granulei abrazive; A - amplitudinea de oscilaţie a particulelor sculei; f - frecvenţa ultrasunetelor; d_a - dimensiunea medie a granulei.

Dacă asupra sculei acţionează o forţă de apăsare P şi granula abrazivă pătrunde în suprafaţa sculei la adâncimea δ_a şi în suprafaţa de prelucrat la adâncimea δ_p, se crează în material o tensiune de fisurare T_r de forma:

$$T_r = \frac{P}{\pi \cdot d_a \cdot \delta_p} = \frac{\pi^2 \cdot \delta_a \cdot d_a^2 \cdot A^2 \cdot f^2}{6 \cdot \delta_p^2} \quad . \tag{9.16}$$

Productivitatea prelucrării V se determină cu relaţia:

$$V = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \left(\frac{d_a}{\sigma}\right)^{3/4} \cdot \left[\frac{4 \cdot A \cdot p}{\pi \cdot k_2 (1 + k_4)}\right]^{3/4} \cdot \frac{f}{\sqrt{d_a}} \quad , \tag{9.17}$$

în care: k_1 este o constantă ce depinde de dimensiunile şi forma granulei abrazive; k_2 - constantă ce depinde de numărul de granule abrazive pe unitatea de suprafaţă; k_3 - probabilitatea desprinderii unei particule sub acţiunea şocurilor; k_4 - coeficient de corecţie ce ţine cont de raportul dintre duritatea sculei şi a piesei de prelucrat; σ - rezistenţa la rupere a materialului de prelucrat; p - presiunea creată între sculă şi piesa-semifabricat.

Lichidul acustic introdus în spaţiul de lucru are scopul de a favoriza apariţia fenomenului de cavitaţie acustică, de a evacua produsele eroziuni şi de a înlocui particulele abrazive cu muchii uzate cu alte particule cu muchii active.

9.5.3. Utilaje folosite la prelucrarea dimensională cu ultrasunete

Indiferent de tipul operaţiilor care se efectuează şi de grupa de aplicaţii, maşinile de prelucrat cu ajutorul energiei ultrasonore se compun în general din următoarele subansamble principale (fig.9.23):

- *generatorul de oscilații electrice* 1, diferențiat în funcție de natura traductoarelor de ultrasunete utilizate în practică (magnetostrictive, piezoceramice, feritostrictive, electrostrictive etc.). În practică se folosesc generatoare cu tranzistoare pentru puteri de 100…1 000 W sau generatoare cu amplificatoare de putere cu tuburi electronice de emisie pentru puteri mai mari de 1 000 W. Problema importantă ce trebuie avută în vedere este realizarea unei adaptări optime a impedanței traductorului ultrasonic cu impedanța de ieşire a amplificatorului final, pentru a realiza un transfer maxim de putere şi deci un randament electroacustic ridicat;

- *sistemul ultraacustic,* care constituie baza unei instalații de prelucrare cu ultrasunete, este alcătuit din unul sau mai mulți *traductori ultraacustici,* care convertesc oscilațiile electrice ale generatorului în oscilații mecanice cu frecvență ultrasonoră, sistemul de conducere, concentrare şi focalizare a energiei ultrasonore în focarul de prelucrare, format din flanşa nodală 3, concentratorul de energie ultrasonoră 4, elementul de cuplare şi scula folosită la prelucrare 5. Pentru confecționarea traductorilor ultraacustici se folosesc piezoceramicele (zirconat titanat de bariu, zirconat titanat de plumb), feritele magneto-strictive şi aliajele pe bază de nichel (Ni-Al; Ni-Fe-Al; Ni-Fe; Ni-Co; Ni-Fe-Co) cu compoziție optimă.

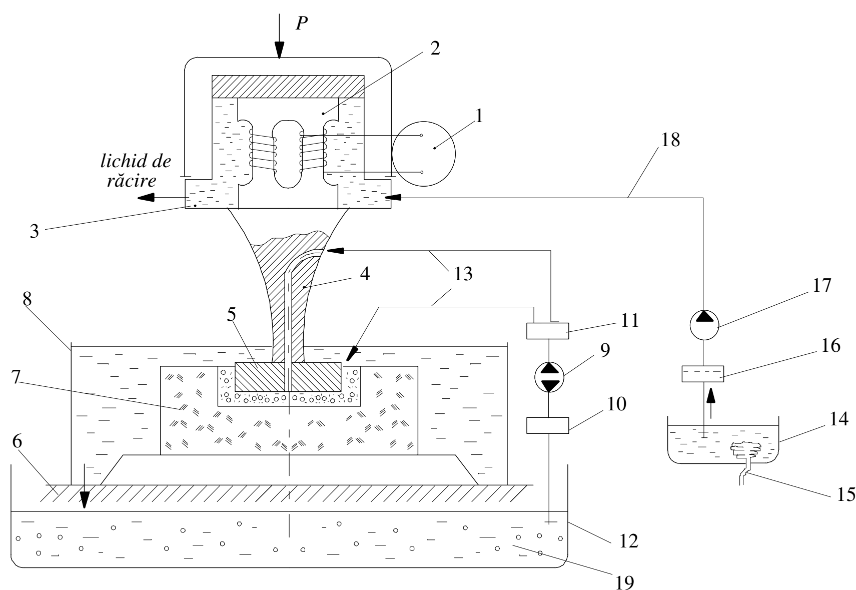


Fig.9.23. Schema de principiu a unei instalații de prelucrare dimensională cu ultrasunete: 1 - generator de ultrasunete; 2 - traductor ultrasonor; 3 - lichid de răcire; 4 - concentrator de energie ultrasonoră; 5 - scula; 6 - masa maşinii; 7 - piesa - semifabricat; 8 - cuvă cu suspensie abrazivă; 9 - pompă; 10; 11 - drosele; 12 - rezervor suspensie abrazivă; 13 - conducte; 14 - rezervor apă de răcire; 15 - serpentină de răcire; 16 - filtru; 17 - pompă; 18 - conducte de alimentare; 19 - suspensie abrazivă proaspătă.

- *partea mecanică a maşinii,* formată din masa de prelucrare 6, pe care se aşează piesa de prelucrat 7 şi cuva 8, cu posibilitatea deplasării după cele trei axe de coordonate, batiul maşinii şi sistemul de avans, care permite apăsarea sculei asupra piesei cu o presiune de contact specifică genului de prelucrare şi naturii materialului de prelucrat;

- *sistemul de recirculare-filtrare şi împrospătare a suspensiei abrazive*, format din pompa 9, droselele 10 şi 11, rezervorul de suspensie abrazivă 12, în care se găseşte suspensia abrazivă 9 şi conductele de transport 13;

- *sistemul de recirculare-răcire-filtrare a lichidului de răcire*, folosit pentru răcirea traductorului format din rezervorul 14, în care se găseşte lichidul de răcire, sistemul de răcire 15, sistemul de filtre 16, pompa 17 şi conductele 18.

De construcţia şi funcţionarea utilajului folosit la prelucrarea dimensională cu ultrasunete depinde capacitatea productivă a prelucrării *Q*, admisă ca principal indice de eficienţă a prelucrării:

$$Q = f(A^m, f^n, p^q, k^r) \quad , \tag{9.18}$$

în care: *A* este amplitudinea oscilaţiilor; *f* - frecvenţa ultrasunetelor; *p* - presiunea statică; *k* - parametru legat de suspensia abrazivă; *m, n, q, r* - coeficienţi de corecţie determinaţi pe cale experimentală, cu valori cuprinse între 0,25….2,5.

Parametrul frecvenţă de lucru *f* poate fi asociat generatorului de ultrasunete şi sistemului ultraacustic. Frecvenţa de lucru pentru majoritatea maşinilor de prelucrat cu ultrasunete este variabilă automat în gama 18…30 kHz.

Parametrul amplitudine a oscilaţiilor sculei *A* se poate asocia sistemului ultraacustic. Valorile amplitudinii sunt limitate de condiţiile de rezistenţă la oboseală a elementelor componente ale sistemului ultraacustic, dar tendinţa generală este de a se folosi valori cât mai mari pentru prelucrarea de degroşare şi mai mici pentru prelucrarea de finisare.

Parametrul tehnologic presiune de contact sculă-piesă *p* este asociat sistemului de avans al maşinilor de prelucrat cu ultrasunete.

Parametrul tehnologic *k* ţine cont atât de modul de alimentare cu suspensie abrazivă, de dimensiunile şi caracteristicile granulelor abrazive, cât şi de caracteristicile suspensiei propriu-zise. El este asociat în primul rând sistemului de alimentare cu suspensie abrazivă şi în al doilea rând sistemului de avans.

9.5.4. Parametrii regimului de prelucrare dimensională cu ultrasunete

Eficacitatea metodei de prelucrare dimensională cu ultrasunete a pieselor se măsoară prin viteza de prelucrare sau productivitatea prelucrării şi prin calitatea şi precizia cu care se face această prelucrare. Rezultatele teoretice şi experimentale ale numeroaselor cercetări demonstrează că viteza de prelucrare este influenţată de următorii parametrii:

- amplitudinea oscilațiilor ultrasonore;
- frecvența oscilațiilor ultrasonore;
- presiunea exercitată de sculă asupra piesei;
- factorul de formă al sculei;
- dimensiunile şi duritatea granulelor de abraziv;
- vâscozitatea lichidului transportor de granule abrazive;
- mărimea suprafeței de prelucrat;
- adâncimea de prelucrare ce trebuie realizată;
- natura materialului de prelucrat;
- precizia şi calitatea suprafeței ce se vrea realizată.

Practic se constată o creştere aproximativ proporțională a vitezei de prelucrare cu amplitudinea oscilațiilor (fig.9.24). Valoarea maximă a amplitudinii este limitată de rezistența sistemului generator-traductor-concentrator de energie ultrasonoră. S-a constatat că depăşirea valorii de 120 μm este periculoasă pentru concentratorul de energie ultrasonoră conducând la fisurarea sau chiar la ruperea lui. Se recomandă folosirea unor valori de 40…50 μm, pentru prelucrarea de degroşare, şi 20…40 μm, pentru prelucrarea de finisare. Necesitatea încadrării în acest interval de valori pentru amplitudinea oscilațiilor a condus la utilizarea unei game de frecvențe relativ joase, fiind considerate frecvențe industriale gama de valori cuprinsă între 18…32 kHz, existând un optim al frecvenței cuprins între 20…25 kHz (fig.9.25).

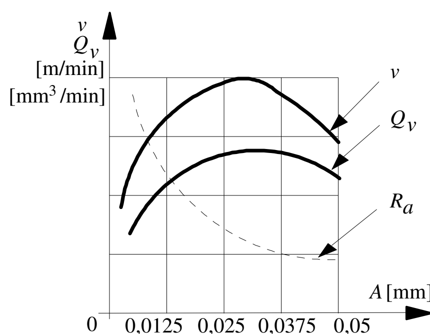


Fig. 9.24. Influența amplitudinii asupra vitezei de prelucrare şi a productivității: v – viteza de prelucrare; Q_v – volumul de material detaşat; R_a – rugozitatea suprafeței prelucrate.

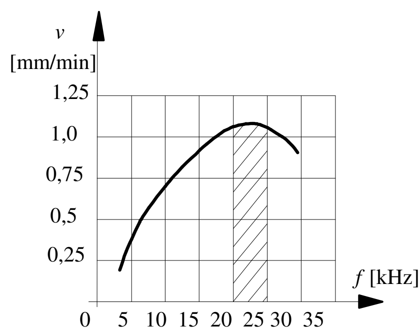


Fig. 9.25. Influența frecvenței asupra vitezei de prelucrare.

Influența exercitată de forma sculei se poate exprima în sensul că cu cât este mai mare raportul dintre perimetru şi suprafață, cu atât este mai mare viteza de prelucrare (fig.9.26). Mărimea granulelor abrazive influențează direct adâncimea de pătrundere în materialul de prelucrat (fig.9.27) în sensul că la granule mici pătrunderea este lentă, iar la granule mari pătrunderea este mai mare, dar trebuie

avut în vedere şi timpul de prelucrare.

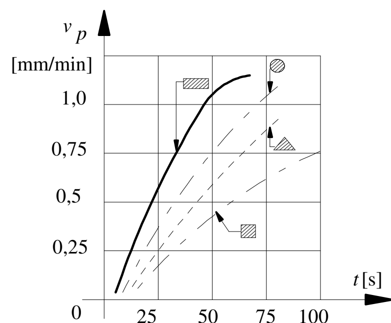


Fig. 9.26. Viteza de prelucrare în funcţie de timpul, forma secţiunii sculei şi timpul de acţionare a undelor ultrasonore.

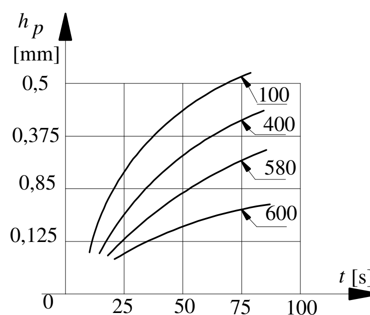


Fig. 9.27. Pătrunderea h_p pentru diferite valori ale granulaţiei materialului abraziv.

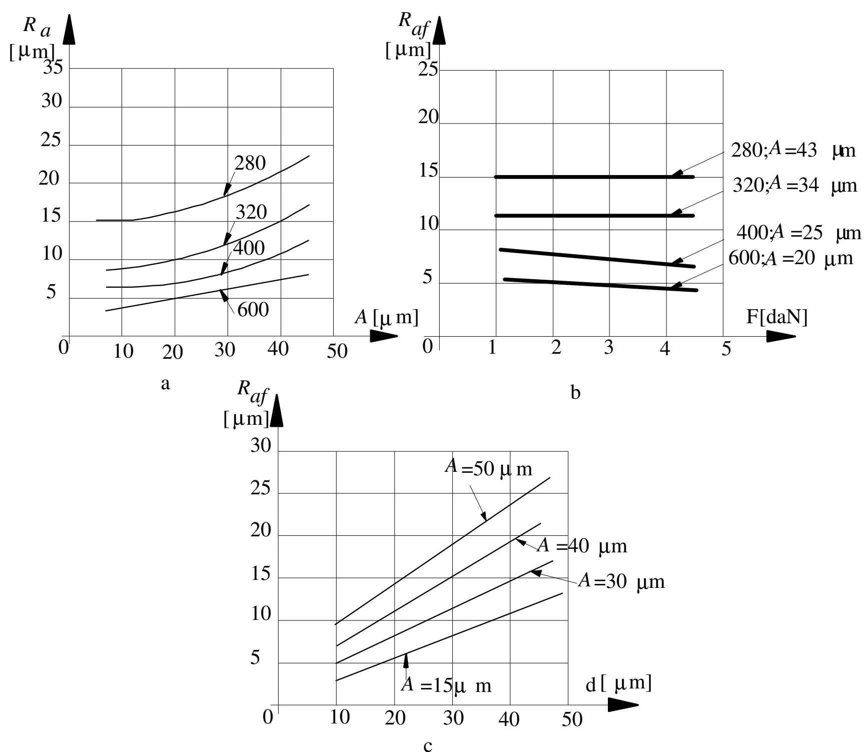


Fig. 9.28. Rugozitatea suprafeţelor prelucrate:
a - rugozitatea laterală în funcţie de amplitudine; b - rugozitatea fundului găurii în funcţie de forţa statică; c - rugozitatea fundului găurii în funcţie de dimensiunea medie a granulelor abrazive.

Natura materialului abraziv care se întrebuinţează depinde de natura materialului de prelucrat, în sensul că dacă se prelucrează piese din sticlă, ceramică, porţelan, siliciu sau germaniu se foloseşte carbura de siliciu şi corindon, dacă se prelucrează oţeluri de scule, oţeluri magnetice, feritice se foloseşte carbura de bor, iar dacă se prelucrează materiale foarte dure (carbura de wolfram, carbura de tungsten, pietre preţioase şi semipreţioase) se foloseşte praful de diamant.

Calitatea suprafeţei prelucrată dimensional cu ultrasunete depinde în primul rând de granulaţia materialului abraziv, de amplitudinea şi forţa statică de apăsare (fig. 9.28).

Precizia dimensională a prelucrării cu ultrasunete depinde de amplitudinea vibraţiilor, de presiunea de contact dintre sculă şi piesă, de uzura transversală şi centrajul sculei şi de granulaţia abrazivului.

9.5.5. Posibilităţile de utilizare ale prelucrării dimensionale cu ultrasunete

Prelucrarea dimensională cu ultrasunete îşi găseşte în tehnica modernă un câmp de aplicabilitate din ce în ce mai larg, remarcându-se în mod deosebit în prelucrarea materialelor dure şi fragile neelectroconductoare, acolo unde alte procedee de prelucrare nu dau rezultate satisfăcătoare sau sunt imposibil de aplicat.

De remarcat că prin procedeul de prelucrare dimensională cu ultrasunete este posibilă realizarea unei game foarte variate de configuraţii a orificiilor sau cavităţilor prelucrate în cele mai diverse materiale. Cele mai des folosite operaţii de prelucrare dimensională cu ultrasunete se prezintă în figura 9.29, deosebindu-se:

- găurirea pătrunsă sau nepătrunsă a unor materiale dure şi extradure neelectroconductoare sau electroconductoare (fig.9.29. a);
- debitarea la dimensiune (fig.9.29. b);
- execuţia orificiilor şi cavităţilor complexe (fig.9.29. c);
- perforarea simultană a mai multor orificii sau debitarea simultană a mai multor piese din industria electronică, cum ar fi plăcuţele semiconductoare, lentilele etc.(fig.9.29. d);
- prelucrarea matriţelor pentru extrudare şi tragere sau a filierelor pentru trefilare (fig.9.29. e);
- execuţia orificiilor curbe pătrunse sau nepătrunse (fig.9.29. f);
- finisarea prin rectificare ultrasonică a suprafeţelor plane sau profilate (fig.9.29. g);
- filetarea interioară sau exterioară a unor materiale dure şi extradure neelectroconductoare cu sculă profilată (fig.9.29. h);
- canelarea după o curbă plană (fig.9.29. i);
- finisarea prin honuire ultrasonică a suprafeţelor interioare cu scule profilate corespunzător (fig.9.29. j);
- durificarea stratului superficial în câmp ultrasonor (fig.9.29. k).

Cele mai spectaculoase realizări sunt în prelucrarea sticlei optice,

prelucrarea şi fasonarea lentilelor şi prismelor. Precizia de prelucrare este de ± 0,025 mm, iar dimensiunea minimă a orificiului de prelucrare este de 0,5 mm.

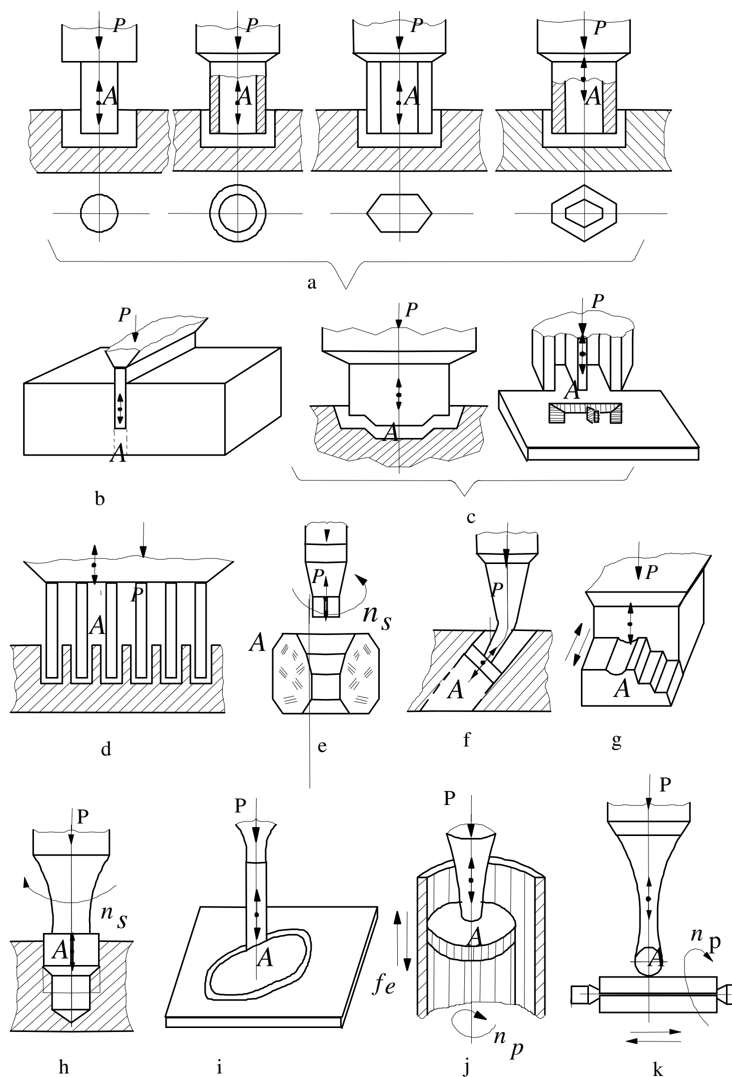


Fig. 9.29. Tipuri de operaţii de prelucrare dimensională cu ultrasunete:
a - găurirea; b - debitarea; c - execuţia orificiilor şi cavităţilor complexe; d - perforarea simultană; e - prelucrarea filierelor; f - execuţia orificiilor curbe; g - rectificarea ultrasonică; h - filetarea; i - canelarea după o curbă plană; j - honuirea ultrasonică; k - durificarea stratului superficial; *A* – amplitudinea oscilaţiilor ultrasonore; *P* – forţa statică de apăsare; n_s, n_p – turaţia sculei şi respectiv a piesei.

Un beneficiar de seamă al rezultatelor prelucrării cu ultrasunete a materialelor dure şi fragile este industria electrotehnică, unde se pune în mod deosebit problema prelucrării şi debitării materialelor semiconductoare, a ceramicilor izolatoare, a feritelor utilizate în radiotehnică şi tehnica de calcul, a elementelor de memorie şi a altor materiale fragile.

Cu rezultate deosebite se aplică prelucrarea dimensională cu ultrasunete în aeronautică, în ceasornicărie şi elemente de mecanică fină în industria aparatelor medicale şi de cercetare, unde se pune şi problema prelucrării unor materiale ca stelitul, cuarțul, mica, rubinul, safirul şi alte pietre prețioase şi semiprețioase utilizate la confecționarea lagărelor de mare precizie şi finețe.

În industria constructoare de maşini prelucrarea dimensională cu ultrasunete şi-a găsit o arie largă de aplicare în prelucrarea complexă şi de mare finețe a carburilor de wolfram şi a unor aliaje dure şi fragile utilizate la construcția sculelor şi matrițelor.

Dezvoltări recente au pus în evidență şi utilizarea cu succes a prelucrării cu ultrasunete la materialele sinterizate şi la prelucrarea bioxidului de uraniu utilizat în centralele atomo-electrice.

9.5.6. Variante ale prelucrării dimensionale cu ultrasunete. Intensificarea procedeelor clasice de prelucrare prin aşchiere folosind energia ultrasonoră

Creşterea eficienței procedeelor clasice de prelucrare prin aşchiere se poate face prin introducerea în sistemul tehnologic a vibrațiilor ultrasonore. Astfel, s-au făcut numeroase cercetări pentru a stabili influența ultrasunetelor asupra unor procedee clasice cum ar fi: strunjirea, frezarea, găurirea, lărgirea, alezarea, filetarea, broşarea, rectificarea, polizarea, şlefuirea, honuirea, lepuirea, ascuțirea sculelor aşchietoare, danturarea etc.

Cercetările experimentale întrepinse au scos în evidență o serie de avantaje ale suprapunerii oscilațiilor ultrasonore peste forțele din sistemul clasic de aşchiere, dintre care:

- permite prelucrarea economică a unor materiale dure şi extradure şi greu prelucrabile prin procedeele clasice;
- măreşte considerabil durabilitatea sculelor aşchietoare(uneori cu peste 400…600 $^0/_0$);
- permite obținerea unei calități foarte bune a suprafeței, prin anihilarea vibrațiilor proprii ale sistemului tehnologic;
- conduce la reducerea câmpului termic şi a tensiunilor remanente;
- creează posibilitatea creşterii vitezei de aşchiere şi a unor productivități mult sporite;
- conduce la micşorarea substanțială a momentelor şi forțelor de aşchiere;
- permite înlăturarea arsurilor şi microfisurilor la operațiile de finisare;
- permite obținerea unor proprietăți fizico-mecanice net superioare ale

suprafeţei prelucrate etc.

9.5.6.1. Strunjirea în câmp ultrasonor

Problema cea mai importantă ce trebuie rezolvată, în cazul strunjirii în câmp ultrasonor, este modalitatea de introducere şi suprapunere a energiei ultrasonore în focarul de desprindere al aşchiei. În funcţie de natura materialelor aşchiate şi de complexitatea sistemului tehnologic de prelucrare se folosesc metodele: introducerea oscilaţiilor ultrasonore în piesa de prelucrat prin construirea unei păpuşi mobile oscilatorii deschise sau închise, introducerea oscilaţiilor ultrasonore prin sculă (fig.9.30) sau prin ambele, folosindu-se sisteme oscilatorii deschise sau închise.

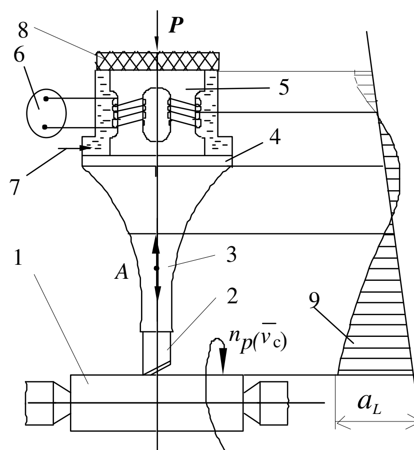


Fig. 9.30. Schema de principiu a strunjirii în câmp ultrasonor:
1 - piesa-semifabricat; 2 - scula de aşchiere; 3 - concentrator de energie ultrasonoră; 4 - flanşă nodală; 5 - traductor de ultrasunete; 6 - generator de ultrasunete; 7 - lichid de răcire a traductorului; 8 - izolant acustic; 9 - amplitudinea vitezei particulei în lungul sistemului acustic; *A* – amplitudinea oscilaţiilor; $n_p(v_c)$ – turaţia piesei (viteza mişcării principale de aşchiere); *P* – forţa statică de apăsare; a_L – amplitudinea oscilaţiilor ultrasonore longitudinale.

Strunjirea cu ultrasunete a unor materiale ca aluminiul şi aliajele sale, oţelurile carbon obişnuite şi oţelurile aliate, bronzurile şi alamele, titanul şi aliajele de titan conduce la reducerea forţelor de aşchiere de 1,5…2,5 ori, creşterea durabilităţii sculelor de 3…6 ori, micşorarea rugozităţii de 2,5...10 ori, creşterea vitezelor de aşchiere de 1,2…2,5 ori, şi creşterea productivităţii de 1,5…3 ori.

9.5.6.2. Găurirea în câmp ultrasonor

Execuţia unor găuri cu diametre mari sau mici şi pe lungime mare, în materiale greu prelucrabile, constituie o problemă dificilă, mai ales când se cere şi

o calitate bună a suprafeţelor prelucrate şi o precizie mare la poziţionare în raport cu alte suprafeţe. Cercetările întreprinse au vizat introducerea energiei ultrasonore fie în scula de aşchiere, fie în piesa de prelucrat sau în ambele (fig. 9.31), în funcţie de configuraţia piesei şi a sculei introducându-se oscilaţii longitudinale, torsionale sau complexe. Experimentările efectuate pe oţeluri carbon obişnuite, pe oţeluri aliate inoxidabile, oţeluri refractare şi rezistente la coroziune, alamă, bronzuri, şi duraluminiu, folosindu-se scule din R_p3, în condiţii diferite de aşchiere, au demonstrat o reducere cu 59…90 % a efortului axial şi a momentului de torsiune o dată cu creşterea vitezei de aşchiere.

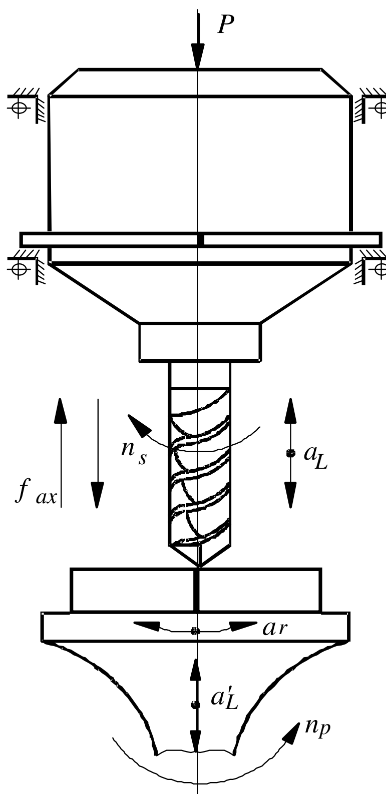


Fig. 9.31. Introducerea undelor ultrasonore prin sculă şi prin piesă la găurirea în câmp ultrasonor: a_L; a'_L - amplitudinea de vibraţie longitudinală a sculei şi respectiv a piesei; a_r - amplitudinea vibraţiilor radiale; f_{ax} - avansul; n_s; n_p - rotaţia sculei, respectiv a piesei; P – forţa statică de apăsare.

9.5.6.3. Lărgirea şi alezarea în câmp ultrasonor

Eficienţa sporită în cazul acestor procedee se obţine prin introducerea energiei ultrasonore prin sculă, dimensionarea acesteia făcându-se în aşa fel încât

în ea să se excite unde longitudinale-torsionale. La procesul de aşchiere o importanță deosebită o au oscilațiile longitudinale, care permit pătrunderea uşoară a lichidului de răcire în zona de desprindere a aşchiilor, iar oscilațiile torsionale permit reducerea substanțială a presiunilor specifice în zona de contact în momentul desprinderii sculei de piesă şi accelerarea procesului de deformare plastică, urmat de fisurarea şi desprinderea materialului în momentul contactului sculă-material.

Suprapunerea oscilațiilor ultrasonore conduce la o reducere a momentului de torsiune de 3,5…5 ori şi a forței axiale cu 30…60% față de procedeul clasic, durabilitatea sculelor creşte de 2,5…6 ori, în timp ce rugozitatea suprafețelor prelucrate se îmbunătățeşte substanțial.

9.5.6.4. Filetarea în câmp ultrasonor

Operația de filetare exterioară sau interioară necesită un mare consum de manoperă, de scule, iar calitatea suprafeței prelucrate nu este totdeauna corespunzătoare. Utilizarea oscilațiilor ultrasonore, mai ales în procesul de filetare interioară cu tarodul, conduce la îmbunătățirea procesului de răcire în zona de contact tăiş-piesă, reduce forțele de frecare pe flancurile tarodului, dar mai ales previne şi înlătură posibilitatea apariției acelor microsuduri de pe flancurile tăişului tarodului. Rezultate bune au fost obținute fie introducând energia ultrasonoră în sculă (oscilații longitudinale, oscilații torsionale), fie în piesă sau combinat.

În majoritatea cercetărilor întreprinse s-a constatat că durabilitatea sculelelor creşte de 2…3 ori, momentul de torsiune se reduce cu 20…60%, în timp ce uzura dinților de calibrare se micşorează simțitor.

9.5.6.5. Frezarea şi broşarea în câmp ultrasonor

La frezare, introducerea oscilațiilor ultrasonore în focarul de prelucrare se poate face fie prin sculă, fie prin piesa de prelucrat sau atât prin sculă, cât şi prin piesă.

Cercetările întreprinse pe diferite materiale au scos în evidență creşterea durabilității sculelor de 2,5…4 ori, creşterea productivității prelucrării şi o rugozitate foarte bună a suprafeței prelucrate (rugozitatea scade de 4,5…10 ori). Sub acțiunea oscilațiilor ultrasonore se produce şi o reducere a câmpului termic şi a vibrațiilor sistemului tehnologic, rezultând subrafețe cu tensiuni remanente reduse şi existând posibilitatea prelucrări unor canale de dimensiuni mici şi precizie ridicată.

La broşare, posibilitatea introducerii energiei ultrasonore prin sculă este imposibilă, deoarece scula are lungimea mare, de aceea oscilațiile ultrasonore se introduc numai prin piesa de prelucrat. Rezultatele obținute de majoritatea cercetătorilor au scos în evidență reducerea timpului de broşare cu 50…70 $^0/_0$, reducerea forței de broşare cu 40…60% şi creşterea calității suprafeței (rugozitatea

se micşorează de 2…4 ori, iar duritatea creşte cu 20…50%) la orificii de diferite configuraţii executate în materiale diferite.

9.5.6.6. Rectificarea, honuirea, lepuirea şi ascuţirea sculelor în câmp ultrasonor

În cazul utilizării energiei ultrasonore în procesul de rectificare, o deosebită importanţă o prezintă direcţia şi tipul oscilaţiilor ultrasonore introduse, deoarece acestea conduc direct la modificarea cursei şi a vitezei granului de abraziv. Rezultate bune au fost obţinute introducând energia ultrasonoră în piatra de rectificat (fig. 9.32. a) sau în piesa de prelucrat (fig. 9.32. b).

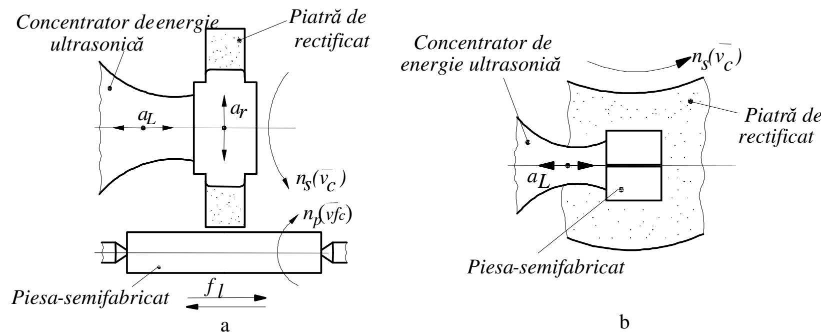


Fig. 9.32. Introducerea energiei ultrasonore în procesul de rectificare: a - în piatra abrazivă; b - în piesa semifabricat; $n_s(v_c)$ - turaţia pietrei abrazive (viteza mişcării principale de aşchiere); $n_p(v_{fc})$ – turaţia piesei(viteza de avans circular); a_L; a_r – amplitudinea oscilaţiilor longitudinale şi respectiv radiale; f_l – avansul longitudinal.

S-a constatat că sub acţiunea vibraţiilor ultrasonore se obţine o aşchiere mai rapidă, calitatea suprafeţei se îmbunătăţeşte mai ales la rectificările interioare adânci, pericolul arderii se elimină şi se măreşte foarte mult durabilitatea sculei, datorită intensificării acţiunii de autocurăţire a pietrei.

Rezultate asemănătoare au fost obţinute şi la alte prelucrări din domeniul finisării suprafeţelor, cum ar fi ascuţirea sculelor, honuirea şi lepuirea suprafeţelor şi altele, problemele importante de rezolvat fiind legate de modul de introducere a energiei ultrasonore în focarul de prelucrare.

9.6. PRELUCRAREA DIMENSIONALĂ CU PLASMĂ

9.6.1. Schema de principiu

Plasma este a patra stare de agregare a materiei. Este o substanţă asemănătoare celei gazoase, fiind un amestec de electroni, ioni pozitivi şi particule

neutre (atomi sau molecule) care se găsesc într-o continuă şi dezordonată mişcare. Concentraţiile electronilor şi ionilor sunt aproximativ egale, astfel că din punct de vedere macroscopic plasma este electric neutră.

Plasma este caracterizată printr-o conductivitate electrică mare, interacţionează cu câmpurile electrice şi magnetice şi este o sursă de radiaţii electromagnetice cu spectru larg (infraroşu, vizibil şi ultraviolet). Gradul de ionizare, natura mediului gazos şi gradul de recondiţionare determină temperatura plasmei care variază în limite foarte largi, începând de la temperatura mediului ambiant (plasma din tuburile cu descărcări în gaze rarefiate), până la milioane de grade Kelvin (plasma nucleară).

În construcţia de maşini se foloseşte plasma cu temperaturi cuprinse între 6 000…30 000 K. În acest domeniu de temperaturi, plasma se obţine prin comprimarea radială şi axială a arcului electric cu ajutorul unor gaze plasmagene (fig.9.33). Arcul electric 1, format între electrodul 2 şi piesa-semifabricat 3, este comprimat axial de gazul plasmagen 4 şi radial de gazul plasmagen 5, introduse prin ajutajele 6 şi respectiv 7.

9.6.2. Mecanismul fizic la prelucrarea dimensională cu plasmă

Temperatura dezvoltată de plasma obţinută prin comprimarea radială şi axială a arcului electric este cuprinsă în domeniul 14 000…30 000 K, suficientă pentru a topi oricare substanţă solidă cu care vine în contact un anumit timp bine determinat. Această topire rapidă şi evaporarea unei părţi din materialul de prelucrat este rezultatul concentrării puternice a energiei termice în zona axială a coloanei arcului, concentrare atribuită următoarelor fenomene termice şi electromagnetice:

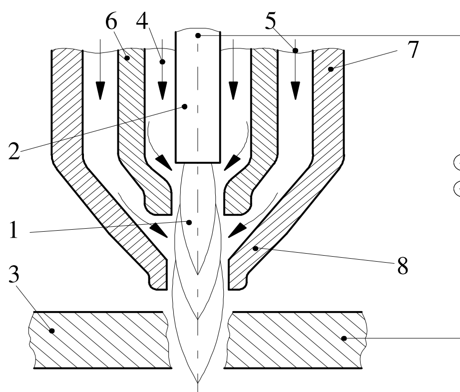


Fig. 9.33. Schema de principiu a obţinerii plasmei:
1 - arc electric; 2 - electrod nefuzibil; 3 - piesa-semifabricat; 4; 5 - gaze plasmagene; 6; 7 - ajutaje;
8 - duză de răcire şi focalizare.

- *mărirea curentului* în zona centrală a arcului, determină în secțiune transversală o creştere a forțelor electromagnetice exercitate asupra liniilor de curent înspre axa arcului, ceea ce conduce la o creştere şi mai mare a contracției radiale;

- *răcirea periferiei arcului electric,* datorită circuitului de răcire din duza 8 (fig. 9.33), produce o micşorare a gradului de ionizare a gazelor din zona răcită, ceea ce reduce conductivitatea în această zonă şi măreşte densitatea de curent în zona centrală a coloanei.

Materialul (de pe suprafata de prelucrat) topit şi chiar evaporat este îndepărtat de curentul de gaz plasmagen, care îndeplineşte şi rolul de transportor al microparticulelor de material îndepărtat.

9.6.3. Utilaje folosite la prelucrarea dimensională cu plasmă

Sunt numeroase tipuri de instalații de prelucrare dimensională cu plasmă, în funcție de natura prelucrării efectuate, de productivitatea procedeului sau de natura materialelor de prelucrat.

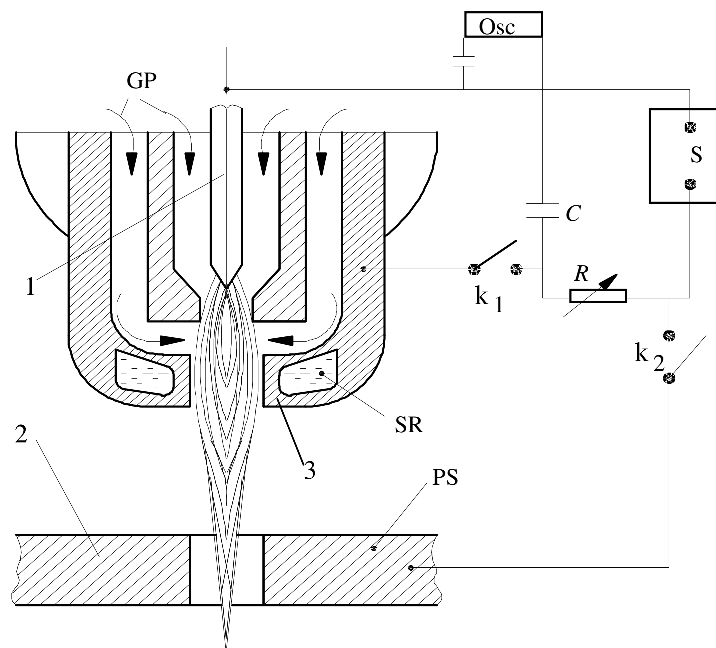


Fig. 9.34. Schema de principiu a unei instalații de prelucrare dimensională cu plasmă: S - sursa de alimentare cu energie electrică; Osc - oscilator de înaltă frecvență şi tensiune pentru amorsare; *C* - condensator de cuplare; k_1 şi k_2 - întrerupătoare; *R* - rezistență variabilă; PS - piesa-semifabricat; G - generator de plasmă; SR - sistem de răcire; GP – gaze plasmagene.

Schema de principiu a unei instalații de prelucrat dimensională cu plasmă se prezintă în figura 9.34. Oricât de complexă ar fi, instalația se compune din următoarele părți principale: generatorul de plasmă, sursa de alimentare cu energie electrică, sursa pentru amorsarea descărcării, sursa de alimentare cu gaze plasmagene şi dispozitivele auxiliare pentru asigurarea deplasărilor relative dintre plasmatron şi piesa de prelucrat.

Generatorul de plasmă (plasmatronul) realizează descărcarea electrică cu formarea arcului electric.

După modul cum realizează descărcarea, respectiv formarea arcului electric se deosebesc două variante distincte:

- *generator cu arc de plasmă* AP (sau cu arc transferat), când arcul electric arde între electrodul (catodul 1) şi piesa-semifabricat de prelucrat 2, legată la anod, şi trece prin duza de focalizare 3 (fig.9.35. a);

-*generator cu jet de plasmă* JP (sau cu arc netransferat-suflat), când arcul electric arde între electrodul 1, legat la catod (fig.9.35. b), şi duza 3 (anodul), plasma fiind suflată în exterior de către presiunea gazului, sub formă de jet (arc suflat).

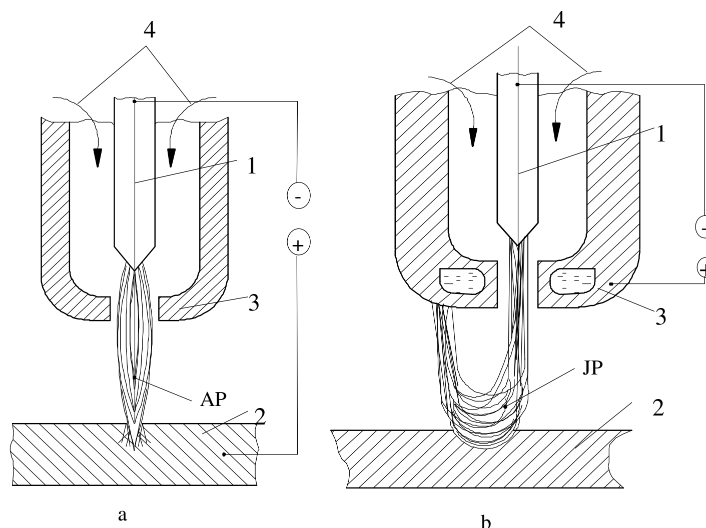


Fig. 9.35. Variantele de funcționare ale generatoarelor cu plasmă:
a - cu arc de plasmă AP ; b - cu jet de plasmă JP: 1 – electrod nefuzibil; 2 – piesa-semifabricat; 3 – duza de focalizare; 4 – gaze plasmagene.

Cele mai folosite plasmatroane sunt cele cu arc transferat, cu condiția ca materialul de prelucrat să aibă conductibilitate electrică.

Sursa de alimentare cu energie electrică se alege în funcție de tipul generatorului de plasmă folosit. Ca sursă de alimentare se folosesc grupuri

convertizoare cu puteri de 1…100 kW şi redresoare speciale, care asigură caracteristici superioare şi parametri ce pot fi reglaţi în trepte, acoperind o gamă largă de puteri, până la 90 kW la un randament ridicat al sursei.

Sistemul de alimentare cu gaze plasmagene se compune dintr-o serie de pompe speciale, butelii de înaltă presiune în care se găsesc gazele, conducte de înaltă presiune, reductoare de presiune şi aparatură de măsură şi control a presiuni gazelor. Gazele sau amestecul de gaze se alege în funcţie de natura materialului de prelucrat, de tipul operaţiei,de condiţiile de funcţionare stabilă a generatorului şi de condiţiile economice.

Stabilitatea descărcărilor electrice şi durabilitatea duzei de focalizare cu gaze monoatomice (argon, heliu) este folosită la prelucrarea unor materiale cu refractaritate înaltă cu gaze biatomice (hidrogen, azot) care disociază în coloana arcului şi se recombină la întâlnirea cu materialul (cu degajare mare de căldură). Natura materialului de prelucrat condiţionează totodată şi natura gazului, în funcţie de reacţiile dorite sau nedorite ce pot avea loc între ele.

Dispozitivele auxiliare asigură deplasarea plasmatronului faţă de piesa-semifabricat după traiectoria necesară şi cu viteza stabilită. În funcţie de productivitatea prelucrării şi complexitatea suprafeţei ce trebuie generată, deplasarea se poate face manual sau mecanizat, folosind dispozitive asemănătoare cu cele de la tăierea cu oxigen.

9.6.4. Parametrii regimului de prelucrare dimensională cu plasmă

Prelucrarea dimensională a anumitor suprafeţe cu plasmă presupune o corelare optimă a parametrilor plasmei (tensiune, curent, natura gazului plasmagen, debitul gazului plasmagen), a parametrilor mecanici (viteza de deplasare a plasmatronului, presiunea gazului purtător) cu caracteristicile cerute suprafeţei prelucrate (formă şi dimensiuni, secţiunea transversală, precizia dimensională, rugozitatea, adâncimea zonei influenţate termic şi constantele termofizice ale materialului de prelucrat).

Parametrul cel mai important este *viteza de prelucrare* v_p, care poate fi calculată în funcţie de parametrii electrici şi de constantele termofizice ale materialului de prelucrat (neglijând influenţa gazului plasmagen folosit), cu relaţia:

$$v_p = \frac{U_a \cdot I_c}{S \cdot c \cdot \rho \cdot \theta_t} \cdot \eta_p \quad [\text{m/s}] \ , \tag{9.19}$$

în care: U_a este tensiunea arcului electric, în V; I_c - intensitatea curentului electric, în A; S - secţiunea transversală a zonei supusă prelucrării, în m^2; c - căldura specifică, în J/kg^{0}C; ρ - masa specifică, în kg/m^3; θ_t - temperatura de topire, în ^{0}C; η_p - randamentul total al prelucrării, definit ca raportul dintre energia folosită pentru îndepărtarea materialului de pe suprafaţa de prelucrat şi energia introdusă în

arcul de plasmă.

În funcţie de natura prelucrării şi natura materialului de prelucrat se pot realiza viteze de tăiere de 250…1 500 mm/min, la o zonă influenţată termic de 0,5…1,0 mm şi o precizie de ± (0,9…1,5)mm.

9.6.5. Posibilităţile de utilizare a prelucrării dimensionale cu plasmă

Prelucrarea dimensională cu plasmă se foloseşte în special la oţelurile inoxidabile cu rezistenţă mecanică mare şi refractaritate înaltă, la aluminiul şi aliajele sale, cuprul şi aliajele sale, magneziul şi aliajele sale şi altele.

Principalele operaţii de prelucrare dimensională cu plasmă sunt:

- debitarea (tăierea) la dimensiuni a barelor, profilelor, tablelor, benzilor sau platbenzilor (fig.9.36. a), după diferite contururi;
- găurirea străpunsă a materialelor cu grosimi până la 125 mm (uneori chiar mai mult), în funcţie de natura materialului (fig.9.36. b);

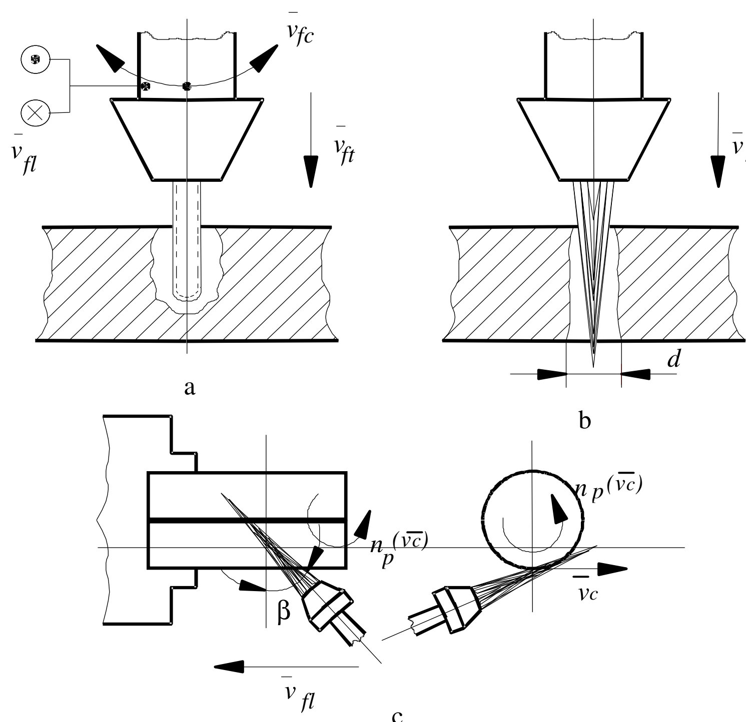


Fig. 9.36. Câteva din aplicaţiile prelucrării dimensionale cu plasmă:
a - debitarea la dimensiune; b - găurirea; c – strunjirea; $n_p(v_c)$ – turaţia piesei-semifabricat (viteza principală de aşchiere); v_{fl}; v_{ft}; v_{fc} – viteza de avans longitudinal, transversal şi respectiv circular.

- strunjirea exterioară a pieselor (fig.9.36. c). În acest caz generatorul de plasmă se aşează tangenţial la suprafaţa de prelucrat şi înclinat cu un unghi β = $=8…9^0$ în direcţia avansului (unghiul de înclinare nu trebuie să fie prea mare, fiindcă se produce o scurgere inelară a materialului topit şi nici prea mic, pentru a nu se împroşca metal topit pe suprafaţa deja finisată);

- filetarea exterioară a pieselor confecţionate din oţeluri refractare utilizate în construcţia de reactoare şi aeronautică, cu viteze de 5…10 ori mai mari decât prin aşchierea clasică;

- sudarea cu plasmă a oţelurilor aliate şi a aliajelor refractare;

- metalizarea cu plasmă etc.

Procedeul se foloseşte şi la intesificarea unor procedee clasice de prelucrare prin aşchiere a unor materiale metalice sau chiar nemetalice (sticlă, ceramică, unele materiale dielectrice etc.).

9.6.6. Variante ale prelucrării dimensionale cu plasmă. Prelucrarea cu microplasmă

Atunci când intensitatea curentului electric din coloana arcului este mică, de ordinul 0,2…10 A, se obţine aşa numita *microplasmă.*

Constrângerea arcului electric în generatoarele de microplasmă (în duze cu orificiu < 0,8 mm diametru), după sistemul arc transferat, duce la realizarea unei descărcări stabile cu lungime de până la 10 mm, în domeniul curenţilor mici. În acest caz, se pot prelucra piese confecţionate din oţeluri inoxidabile, nichel sau titan, cu grosimi ce variază între 0,01 şi 0,8 mm.

9.7. PRELUCRAREA DIMENSIONALĂ PRIN EROZIUNE CU RADIAŢII

9.7.1. Generalităţi

Radiaţiile corpusculare (electronii, ionii) şi electromagnetice (fotonii) la densităţi mari pot fi concentrate şi focalizate sub forma unor fascicule-unealtă care la interacţiunea cu materialul de prelucrat să genereze surse termice de temperaturi foarte mari, suficiente să topească sau să vaporizeze orice fel de material utilizat în tehnică.

Cele mai răspândite variante ale procedeului de prelucrare prin eroziune cu radiaţii sunt: prelucrarea cu fascicul de electroni, prelucrarea cu jet de ioni rapizi şi prelucrarea cu fascicul de electroni.

9.7.2. Prelucrarea cu fascicul de electroni

Are la bază transformarea energiei cinetice a electronilor concentraţi şi focalizaţi la interacţiunea cu suprafaţa de prelucrat.

9.7.2.1. Schema de principiu a procedeului

Schema de principiu a procedeului se prezintă în figura 7.40. Fasciculul de electroni 1, cu densitate mare şi energie cinetică ridicată, comandat printr-un sistem de electrozi de comandă 2, accelerat şi focalizat printr-un sistem de lentile de focalizare 3, este adus pe suprafaţa piesei de prelucrat 4, care se găseşte într-un spaţiu cu vid înaintat 5. Electronii acceleraţi, pătrund în materialul de prelucrat şi interacţionează cu acesta, energia lor cinetică fiind absorbită de material şi transformată aproape integral în căldură. Materialul se încălzeşte până la vaporizare şi este îndepărtat din zona de interacţiune rezultând suprafaţa prelucrată.

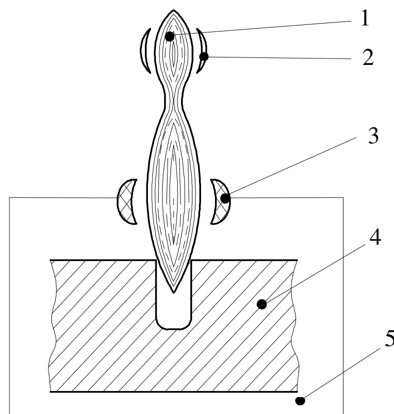


Fig. 9.40. Schema de principiu la prelucrarea dimensională cu fascicul de electroni: 1 - fascicul de electroni; 2 - electrozi de comandă; 3 - lentile de focalizare; 4 - piesa - semifabricat; 5 - incintă cu vid înaintat.

9.7.2.2. Mecanismul fizic al prelucrării dimensionale cu fascicul de electroni

Electronii produşi prin emisie termoelectronică de către un catod străbat o diferenţă de potenţial U şi preiau de la câmpul electric o energie cinetică, conform relaţiei:

$$n \cdot e \cdot U = n \cdot \frac{m_e \cdot v_e^2}{2} \quad , \qquad (9.20)$$

în care: n este numărul electronilor; e - sarcina electrică a unui electron, în C; m_e - masa electronului, în kg; v_e - viteza de accelerare a electronilor, în m/s.

Energia cinetică a electronilor este transformată în energie termică prin frânarea acestora pe suprafaţa piesei ce urmează a fi prelucrată. Materialul se încălzeşte până la vaporizare într-o zonă superficială de grosime h_s (fig. 9.41), care

poate fi considerată transparentă la electroni. Presiunea vaporilor formaţi expulzează materialul din zona de grosime h_s şi o parte din materialul ajuns în stare lichidă, formându-se un crater de eroziune de înălţime h_1. Formarea craterului este condiţionată de localizarea încălzirii în zona sursei până la 6 000 K, în timp ce la o distanţă de 1μm temperatura nu depăşeşte 600…700 K. Conectarea periodică a fasciculului de electroni în impulsuri cu durată mică ($10^{-6}…10^{-4}$s) şi frecvenţă ridicată ($10^2…10^4$ Hz) conduce la un gradient ridicat de temperatură şi formarea de alte cratere de eroziune de înălţime $h_2…h_n$, până la străpungerea completă a zonei de prelucrat.

Puterea specifică a fasciculului de electroni este produsul dintre tensiunea de accelerare a electronilor şi intensitatea fasciculului, putând ajunge la valori de $5·10^8$ W/cm^2, nivel net superior altor procedee de concentrare a căldurii. Deoarece fasciculul de electroni poate fi uşor focalizat, în pete focale cu diametre foarte mici ($10^{-2}…10^{-3}$ mm), această mare densitate de energie concentrată în spaţii foarte mici conduce la topirea şi vaporizarea aproape instantanee a materialului din zona de interacţiune.

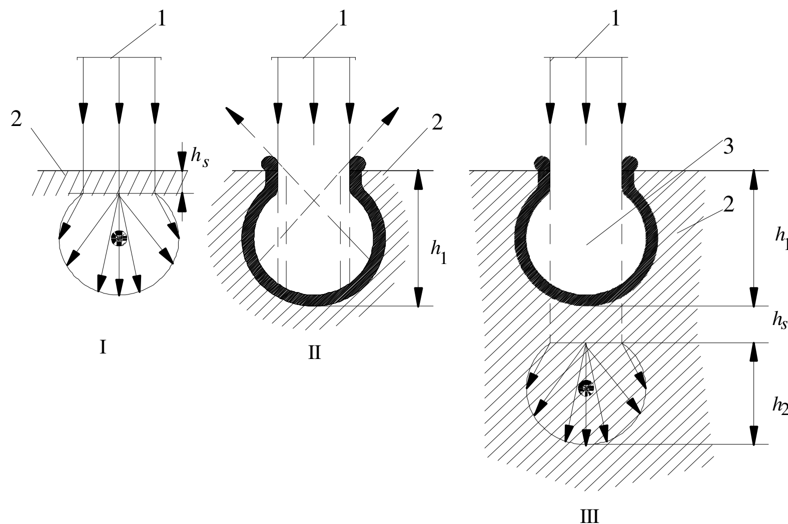


Fig. 9.41. Mecanismul prelucrării dimensionale cu fascicul de electroni:
I - formarea sursei termice; II - formarea craterului de eroziune; III - repetarea impulsului:
h_s – grosime de material vaporizat; h_1, h_2 – înălţimea succesivă a craterelor; 1 – fascicol de electroni; 2 – piesa-semifabricat; 3 – crater.

9.7.2.3. Utilaje folosite la prelucrarea dimensională cu fascicul de electroni

Indiferent de tipul constructiv şi de puterea specifică a fasciculului de electroni, o instalaţie de prelucrare cu fascicul de electroni este formată din

următoarele părţi principale (fig.9.42.): tunul electronic (sistemul electrono-optic), sursele de alimentare cu energie electrică, sistemul de vidare, dispozitivele auxiliare, aparatura de comandă, urmărire, măsură şi control.

Tunul electronic este format din termocatodul de emisie electroni 1, confecţionat din wolfram, tantal, borură de lambdan (LaB_4) etc., sistemul de electrozi de comandă 2, care permite formarea fasciculului de electroni împreună cu grila anodică 3. Fasciculul de electroni format trebuie accelerat şi focalizat, operaţie care se face cu ajutorul grilei de accelerare 4, diafragmelor 5, lentilelor stigmator 6 şi lentilelor electromagnetice 7.

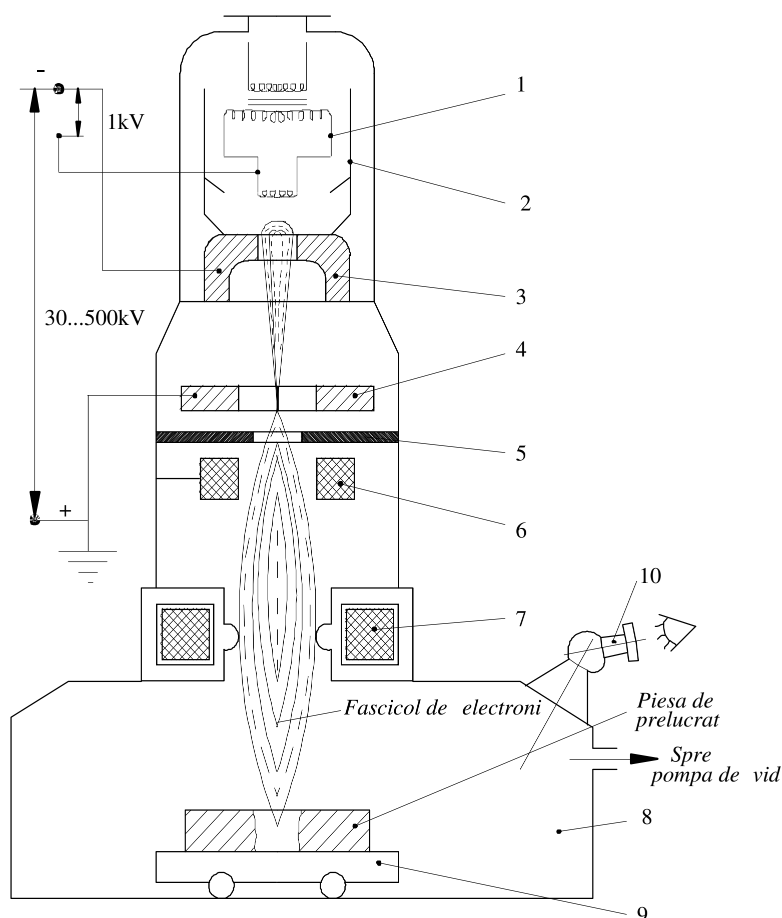


Fig. 9.42. Schema de principiu a unei instalaţii de prelucrare dimensională cu fascicul de electroni: 1 - termocatodul de emisie; 2 - electrozii grilă de comandă; 3 - grilă anodică; 4 - grilă de accelerare; 5 - diafragmă; 6 - lentile stigmator; 7 - lentile electromagnetice de focalizare; 8 - incintă vidată; 9 - dispozitiv de prelucrare (masă în coordonate); 10 - dispozitiv de urmărire şi control a operaţiei.

Sursele de alimentare cu energie electrică au rolul de a crea diferenţa de potenţial necesară generării, comandării, accelerării şi focalizării fasciculului de electroni. Se deosebesc: sursa de încălzire a termocatodului de emisie, sursa de înaltă tensiune (creează o diferenţă de potenţial de 30…500 kV, în funcţie de puterea tunului electronic), sursa de negativare a electrozilor de comandă, transformatoare, redresoare, modulatoare cu condensatoare de cuplare, stabilizatoare de curent pentru alimentarea lentilelor de focalizare şi stabilizatoare de curent pentru alimentarea stigmatorului.

Pentru a limita aberaţiile lentilelor electromagnetice şi a stabiliza diametrul petei focale, în tot timpul prelucrării este necesară menţinerea stabilă a tensiunii acestor surse cu o precizie de circa 0,01%.

Sistemul de vidare creează vidul necesar în camera de prelucrare 8, unde sunt necesare presiuni de ordinul $10^{-1}…10^{-4}$ torr pentru a limita dispersia fasciculului şi apariţia produselor de ionizare. Sistemul de vidare se compune dintr-un sistem de pompe în trepte; pompe de vid preliminar (de obicei pompe mecanice cu palete) şi pompe de vid înaintat (pompe de difuzie cu ulei sau mercur).

Dispozitivele auxiliare realizează conducerea fasciculului de electroni după traiectoria dorită, precum şi urmărirea desfăşurării procesului de prelucrare. Cele mai importante dispozitive sunt: mesele în coordonate 9, acţionate de motoare electrice; dispozitivele de urmărire 10; bobinele de deflecţie ale fasciculului conform cu schemele de prelucrare şi dispozitivele de reglare a principalilor parametri ai fasciculului de electroni.

9.7.2.4. Parametrii regimului de prelucrare dimensională cu fascicul de electroni

Prelucrarea dimensională cu fascicul de electroni a anumitor suprafeţe presupune o corelare optimă a parametrilor fasciculului de electroni (tensiune de accelerare, intensitatea fasciculului, viteza de accelerare, durata impulsului, frecvenţa impulsului) a parametrilor mecanici (viteza de deplasare a fasciculului pe suprafaţa de prelucrat, presiunea în camera vidată), a parametrilor de material (duritate, constante termofizice, natură) cu caracteristicile tehnologice cerute suprafeţei prelucrate (formă şi dimensiuni, secţiune transversală, precizie dimensională, rugozitatea suprafeţei prelucrate, adâncimea zonei influenţate termic etc.).

Prelucrarea cu fascicul de electroni este rezultatul vaporizării materialului în vacuum, fenomen care se petrece numai când cantitatea de căldură rezultată în urma transformării energiei cinetice a electronilor este mai mare decât căldura necesară pentru încălzirea, topirea şi vaporizarea materialului respectiv. Prin urmare, prelucrabilitatea cu fascicul de electroni a diferitelor materiale este determinată în primul rând de constantele lor termofizice (căldura specifică, temperatura de topire şi vaporizare, căldura latentă de topire şi vaporizare,

conductivitatea termică) şi de interdependenţa cu parametrii fasciculului.

Adâncimea de pătrundere x_p a fasciculului se calculează cu relaţia:

$$x_p = 2{,}2 \cdot 10^{-12} \frac{U_a^2}{\rho} \quad [\text{cm}] \ , \tag{9.21}$$

în care: U_a este tensiunea de accelerare a fascicolului de electroni, în V; ρ - densitatea materialului în kg/dm^3.

9.7.2.5. Posibilităţile de utilizare ale prelucrării dimensionale cu fascicul de electroni

Procedeul de prelucrare dimensională cu fascicul de electroni este economic şi foarte eficace la prelucrarea unor piese de dimensiuni mici, la execuţia unor suprafeţe mici simple sau complexe, în materiale greu prelucrabile electroconductoare sau neelectroconductoare, acolo unde celelalte procedee de prelucrare sunt neeconomice sau imposibil de aplicat.

Principalele operaţii de prelucrare dimensională cu fascicul de electroni sunt:

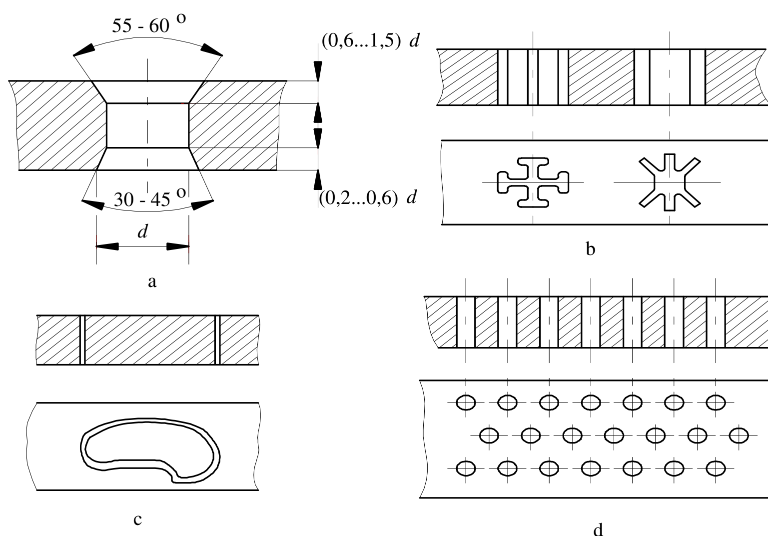


Fig. 9.43. Exemple de operaţii de prelucrare dimensională cu fascicul de electroni: a - orificii de diametre foarte mici, de ordinul micronilor; b - fante înguste şi foarte înguste; c - tăiere după contur închis sau deschis; d - filtre foarte fine.

- obţinerea de orificii cu diametre foarte mici (fig. 9.43. a). S-a constatat că la intrare aceste orificii au un con de intrare de 55…60^0 pe o adâncime de 0,6…1,5 mm din diametrul găurii (datorită condiţiilor grele de termo-

conductivitate) şi la ieşirea fasciculului au de asemenea un con de 30…45^0 pe o adâncime de 0,2…0,6 din diametrul găurii. Forma şi precizia dimensională cea mai bună se obține la găuri cu diametre cuprinse între 25 µm şi 50µm în materiale ca: aliaje dure (filiere), corund sintetic (lagăre, filiere), materiale refractare, sticlă, ceramică (filiere pentru fibre sintetice, orificii la injectoare, jiglere, amortizoare), mase plastice;

- obținerea fantelor înguste şi foarte înguste (fig. 9.43. b) în materiale dure şi extradure;
- tăierea rectilinie sau curbilinie (fig. 9.43. c) a peliculelor şi plăcuțelor de grosime foarte mică;
- prelucrarea filtrelor foarte fine şi a orificiilor multiple (fig. 9.43. d);
- prelucrarea după contur a diferitelor canale în piese şi dispozitive auxiliare folosite în electronica miniaturală (semiconductori, rezistențe de precizie, măşti pentru metalizarea microschemelor etc.).

Productivitatea instalațiilor poate fi foarte mare (până la 3 600 găuri/oră), ea fiind limitată de deplasarea obiectului de prelucrat.

9.7.3. Prelucrarea dimensională prin eroziune cu fascicul de fotoni

Are la bază transformarea energiei cinetice a fotonilor concentrați şi focalizați în energie termică la interacțiunea cu suprafața de prelucrat.

9.7.3.1. Schema de principiu a procedeului

Fasciculul de fotoni se obține într-un generator cuantic numit în literatura de specialitate laser (lumină amplificată prin stimularea emisiei de radiație). Laserul este un generator de radiații electromagnetice, cu lungimi de undă începând din domeniul ultraviolet şi extinzându-se până la infraroşu îndepărtat.

Stimularea emisiei de radiație se realizează prin aplicarea asupra ionilor, atomilor sau moleculelor a unei energii de excitație care, în anumite condiții determinate, produce emisie de lumină.

Principiul general de funcționare al generatoarelor cuantice numite lasere se bazează pe absorția de energie de către un mediu activ şi emiterea acesteia sub formă de radiație stimulată.

Pentru sistemele atomice aflate în echilibru termodinamic, raportul dintre numărul sistemelor aflate în stare excitată N_m şi cele neexcitate N_n este dat de legea de distribuție a lui Boltzman, de forma:

$$\frac{N_m}{N_n} = \frac{E_m - E_n}{kT} \quad , \tag{9.22}$$

în care: k este constanta lui Boltzmann; E_m - E_n - diferența dintre energia nivelului m şi cea a nivelului n (fundamental); T- temperatura.

Din analiza relației (9.22) se constată că $N_1 > N_2 > N_3 > \ldots > N_i$ pentru $E_1 < E_2 < E_3 < \ldots < E_i$, adică populația nivelului superior este mai mică decât cea a nivelului inferior.

Se pot însă crea situații când populația nivelului superior să fie mai mare decât cea a nivelului inferior. Această situație se numeşte *inversiune de populație.*

Realizarea inversiunii de populație are loc dacă în urma introducerii unei energii numită *radiație de pompaj* au loc interacțiuni dintre radiațiile electromagnetice şi sistemele atomice ale substanței active. Ca urmare a acestei interacțiuni se produc două efecte diferite:

- *absorția de radiație,* când se produce excitarea sistemului;
- *emisia simultană de radiație,* când are loc dezexcitarea sistemului excitat, prin interacțiunea acestuia cu o cuantă de energie incidentă de aceeaşi frecvență cu cea a cuantei de dezexcitare.

În funcție de modul de realizare a inversiunii de populație se deosebesc următoarele tipuri de lasere:

- *cu mediu activ solid,* la care inversiunea se realizează prin iradiere optică;
- *cu semiconductoare,* la care inversiunea se realizează prin injecție de electroni, prin iradiere electronică şi iradiere optică;
- *cu mediu activ gazos,* la care inversiunea se realizează prin ciocniri neelastice şi prin iradiere optică;
- *chimici,* la care inversiunea se realizează prin discocieri chimice.

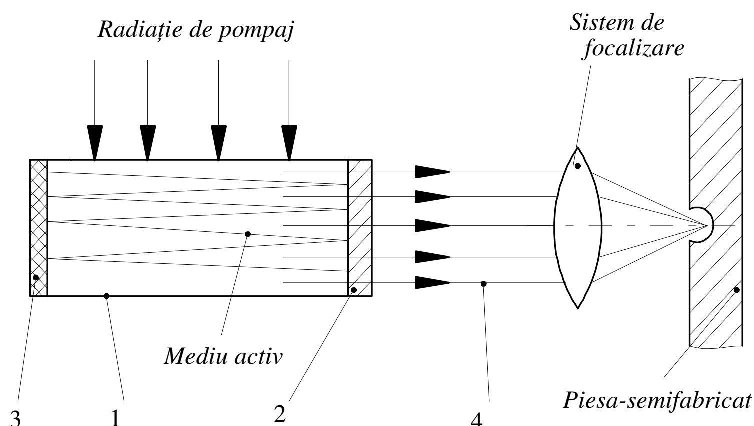


Fig. 9.44. Schema generării fasciculului laser în rezonatorul cu oglinzi paralele: 1 - rezonator optic; 2 - oglindă transparentă; 3 - oglindă opacă; 4 - fascicul de fotoni.

Interacțiunea dintre radiațiile electromagnetice şi substanța activă se produce în mod eficient dacă are loc într-un spațiu denumit *rezonator optic.* Forma oglinzilor de capăt ale rezonatorului 1 poate fi o suprafață plană (rezonator tip Fabry-Perot ca în figura 9.44), suprafață sferică (rezonator concentric) sau

confocală. Radiația amplificată iese parțial prin suprafața lentilei semitransparente 2 paralelă cu lentila opacă 3, formând fasciculul laser 4, coerent, monocrom, direcțional şi foarte intens. Datorită timpului scurt în care se produce emisiunea stimulată şi amplificarea (≈ 10^{-6} s) şi posibilității de a fi condus, concentrat şi focalizat, fasciculul laser poate ajunge la densități de putere de 10^{10} W/cm^2, fasciculul de fotoni putând fi focalizat pe suprafețe mici şi atingând temperaturi de peste 18 000 K, suficiente să topească şi să vaporizeze orice material existent.

9.7.3.2. Mecanismul fizic al prelucrări dimensionale cu fascicul de fotoni

Aplicarea practică a fasciculului laser la prelucrarea dimensională este facilitată de proprietățile caracteristice ale acestuia, cele mai importante fiind: coerența, monocromaticitatea, direcționalitatea, intensitatea emisiei laser, posibilitatea concentrării, conducerii şi focalizării fasciculului laser.

Interacțiunea fasciculului laser cu materialul de prelucrat în procesul de prelucrare poate fi considerată ca o influență a sarcinii electromagnetice a undei luminoase asupra atomilor sau moleculelor substanței. Aspectele principale ale procesului de interacțiune se determină prin ecuația Maxwell, care corelează constantele de bază ale opticii metalelor cu natura electromagnetică a luminii:

$$\text{rot}\,\overline{H} = \frac{\varepsilon}{c} \cdot \frac{\partial E}{\partial t} + \frac{4\pi}{c} \cdot \sigma \cdot \overline{E} \qquad (9.23)$$

$$\text{rot}\,\overline{E} = -\frac{\mu}{c} \cdot \frac{\partial \overline{H}}{\partial t} \qquad (9.24)$$

$$\text{div}\,\overline{H} = 0; \text{div}\,\overline{E} = 0 \quad , \qquad (9.25)$$

în care: $\overline{H}$ este vectorul tensiunii câmpului magnetic în vid; $\overline{E}$ - vectorul tensiunii câmpului electromagnetic în vid; ε - permeabilitatea dielectrică; c - viteza luminii; σ - conductivitatea electrică specifică materialului; μ - permeabilitatea magnetică.

Din ecuația (9.23), prin transformări se determină legea variației amplitudinii undei de lumină care se propagă în material, de forma:

$$I = I_0 \cdot \mathrm{e}^{-\frac{1}{\alpha}} \quad , \qquad (9.26)$$

în care: I_0 este densitatea sarcinii dielectrice; α - coeficient privind schimbarea densității la timpul t.

Adâncimea de pătrundere a undei de lumină depinde de coeficienții de refracție şi absorție. Coeficientul de refracție n se determină din relația:

$$\varepsilon'' = (n - Jk)^2 = (n'')^2 \quad , \qquad (9.27)$$

în care: n, k şi n'' sunt coeficienții de refracție, absorție şi respectiv coeficientul comun de absorție.

Coeficientul de absorție η se determină din relația:

$$\eta = -\frac{1}{W_{cp}} \cdot \frac{\partial W_{cp}}{\partial x} \quad , \qquad (9.28)$$

în care: W_{cp} reprezintă diminuarea energiei medii de către straturile de material ca urmare a absorției; x -valoarea pătrunderii undei de lumină în material ($x=nc/4\pi\sigma$).

În condiții reale, metalele se prezintă opace pentru undele luminii albe, însă în cazul interacțiunii razelor de înaltă densitate (razelor laser) cu materialul, în stratul superficial al materialului are loc o intensă degajare de căldură.

Dacă pe suprafața unui semifabricat cu parametrii termofizici constanți, se focalizează o rază laser de densitate constantă, energia totală W_Σ la suprafața materialului se stabileşte cu relația:

$$W_\Sigma = W_R + W_n + W_r \quad , \qquad (9.29)$$

în care: W_r este energia ce trece prin material; W_R - energia reflectată de suprafață (când aceasta este mată sau acoperită cu un strat absorbant $W_R = 0$); W_n - energia absorbită de material.

În cazul petei focale de câțiva microni, pe o durată de o milisecundă, cu o densitate de energie de $10^7 - 10^{14}$ W/cm^2, materialul semifabricatului se topeşte instantaneu şi se vaporizează. Caracterul şi intensitatea procesului depinde în principal de poziția petei focale, de proprietățile termofizice ale semifabricatului şi parametrii energetici ai razei laser.

În concluzie se poate spune că pentru folosirea în condiții de eficiență tehnică şi economică a fascicolului laser este necesar a se analiza următoarele aspecte:

- care este coeficientul de absorție al suprafeței de prelucrat în funcție de lungimea de undă a radiației;
- care este gradul de reflectabilitate a suprafeței în funcție de lungimea de undă a radiației;
- care este coeficientul de difuzie termică a materialului supus prelucrării;
- care sunt efectele termice ale materialului;
- care este rezistența materialului la şocuri termice;
- care este calitatea suprafeței.

9.7.3.3. Utilajul folosit la prelucrarea dimensională cu fascicul de fotoni

În funcție de mediul activ folosit, de natura radiației de pompaj, de modul de conducere, concentrare şi focalizare a fasciculului laser, precum şi în funcție de natura aplicațiilor sunt numeroase tipuri constructive de lasere. În principiu, orice instalație laser se compune din următoarele părți principale:

- *sistemul de excitație,* care creează în sistemul atomic o schimbare a stării energetice în vederea creării unei inversiuni de populație între cele două nivele

energetice. Este format din sursa de alimentare cu energie electrică şi sursa de excitaţie. Ca surse de energie electrică se folosesc: acumulatori de energie cu condensatori de capacitate mare (circa 1 000 μF) la tensiune înaltă (de ordinul 10 kV) pentru laserii cu mediul solid ce funcţionează în impuls; redresori pentru intensităţi mari de curent (puteri de zeci de kW) pentru laseri cu mediu solid şi funcţionare continuă; generatoare de tensiune continuă sau alternativă de înaltă frecvenţă (20…30 MHz) pentru laseri cu gaz funcţionând în regim continuu sau pulsat;

Cele mai folosite surse de excitaţie sunt cele optice. Se utilizează de obicei lămpi cu dascărcare în gaze (lămpi cu xenon);

- *cavitatea de rezonanţă cu mediul activ,* care realizează emisia şi amplificarea fasciculului laser. Sunt foarte multe tipuri de cavităţi de rezonanţă: cu două oglinzi sferice confocale cu focar comun şi raze de curbură comună egală cu distanţa dintre ele, cu oglinzi plane paralele, cu suprafeţe prismatice cu reflexie totală, cu oglinzi parabolice confocale etc.

Ca medii active se folosesc: materialele solide (de exemplu: rubinul sintetic ca material suport impurificat cu Cr^{3+}, sticla dopată cu neodim samarin S_m^{3+}, thelurul Th^{3+}, holmiul H^{3+}, erbehul Er^{3+}, neodimul Nd^{3+}, granatul de ytriu şi aluminiu notat YAG etc.); substanţele active gazoase (de exemplu: He-Ne; $Ne-O_2$, Hg, Hg-Ne etc.) lichidele active (de exemplu: soluţiile de acid neodimic dizolvat în oxiclorură de seleniu Nd^{3+}-Se $OC1_2$ sau în oxiclorură de fosfor Nd^{3+}-$POC1_3$, euratul de bariu în alcool cu ionul activ Eu^{3+}, chelaţii de forma EuX_3, EuX_4 etc., semiconductoarele (arseniatul de galiu-GaAs; sulfura de cadmiu-CdS; arseniura de indiu-InAs; seleniura de plumb-PbSe etc.);

- *sistemul optic de focalizare,* care realizează concentrarea şi focalizarea fasciculului laser în aşa fel încât pierderile de energie să fie minime. Este format din lentile şi oglinzi sferice alese în functie de lungimea de undă a fasciculului. În calculul lor trebuie ţinut cont că intensitatea radiaţiei nu este constantă în pata focalizată, ea este maximă în centrul petei şi scade cu creşterea razei acesteia;

- *sistemul de răcire,* care realizează condiţiile necesare, în cavitatea de rezonanţă, pentru obţinerea unei emisii laser de calitate (interesează mai ales monocromaticitatea). Circuitele şi modalităţile de răcire sunt alese în funcţie de construcţia cavităţii de rezonanţă, natura mediului activ şi proprietăţile fasciculului laser obţinut. Se folosesc diferite circuite de răcire, începând de la circuitele de răcire cu apă la temperatura mediului ambiant, până la circuitele de răcire cu gaze lichefiate;

- *dispozitivele auxiliare,* care au rolul de a deflecta fasciculul laser din plan orizontal în plan vertical (pentru a face posibilă prelucrarea dimensională a materialelor), de a conduce şi dirija fasciculul laser după traiectoria necesară generării suprafeţelor.

Schema de principiu a unei instalaţii de prelucrare dimensională cu fascicul laser, cu mediul activ solid (cristal de rubin impurificat cu Cr^{3+}), se prezintă în

figura 9.45. Pentru prelucrarea dimensională a piesei-semifabricat 1, aşezată pe masa de uzinaj fotonic 2, se foloseşte fasciculul laser 3, concentrat şi focalizat de lentila 7 şi dirijat cu ajutorul duzei 4 a ajutajului 6. Pentru protecția fasciculului laser se foloseşte un amestec de gaze 5. Fasciculul laser monocromatic 10, coerent şi direcțional, din planul orizontal este deflectat în planul vertical în zona de prelucrare cu ajutorul unei lentile de deflexie 8, răcită în permanență 9.

Emisia laser are loc în cavitatea de rezonanță 11, ca urmare a creării inversiunii de populație cu ajutorul sursei de alimentare 13 şi radiației de pompaj 12.

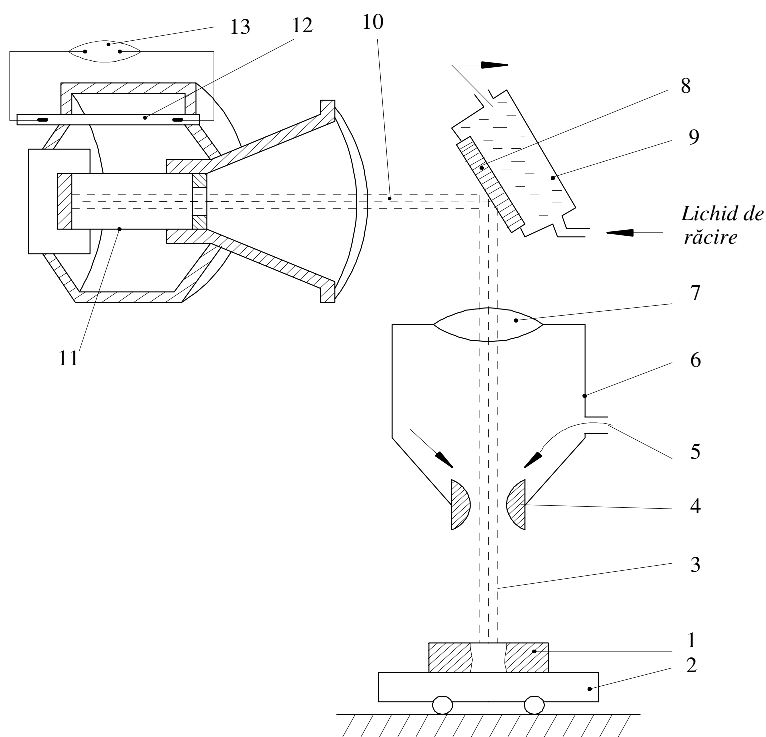


Fig. 9.45. Schema de principiu a unei instalații de prelucrare dimensională cu fascicul laser cu mediu activ solid:
1 - piesa-semifabricat; 2 - masa de uzinaj fotonic; 3 - fascicol laser concentrat și focalizat; 4 - duză de conducere şi protecție; 5 - gaze de protecție; 6 - ajutaj; 7 - lentilă de focalizare; 8 - lentilă de deflexie; 9 - sistem de răcire; 10 - fascicol de fotoni orizontal; 11 - cavitatea de rezonanță; 12 - radiația de pompaj; 13 - sursă de alimentare.

Instalația laser cu mediul activ solid are eficiență deosebită pentru lucrul în impulsuri (durata $10^{-4}…10^{-7}$s), atingându-se densități de putere de $10^{10}…10^{13}$ W/cm^2.

Schema de principiu a unei instalații de prelucrare dimensională cu fascicul laser cu mediul activ gazos se prezintă în figura 9.46.

Piesa de prelucrat 1, aşezată pe masa de uzinaj fotonic 2, cu posibilitatea deplasării şi rotirii după cele trei axe de coordonate, interacționează cu fasciculul laser 3, în zona de prelucrat. Conducerea fasciculului laser se face cu ajutorul unor sisteme de comandă ce deplasează ajutajul 5 cu viteza corespunzătoare, iar protecția fasciculului se face cu ajutorul amestecului de gaze 6, ce îmbracă concentric fasciculul. Fasciculul laser este focalizat de sistemul de lentile 7 şi adus în plan vertical de sistemul de deflexie 9 care este răcit în permanență 10. Pentru a preîntâmpina eventuale accidente se folosesc oburatoarele 8 şi 12. Emisia laser are loc în cavitatea de rezonanță 14 în care are loc descărcarea electrozilor 15, cuplați la sursa de curent 16. Puterea de ieşire a laserului cu mediul activ gazos depinde de

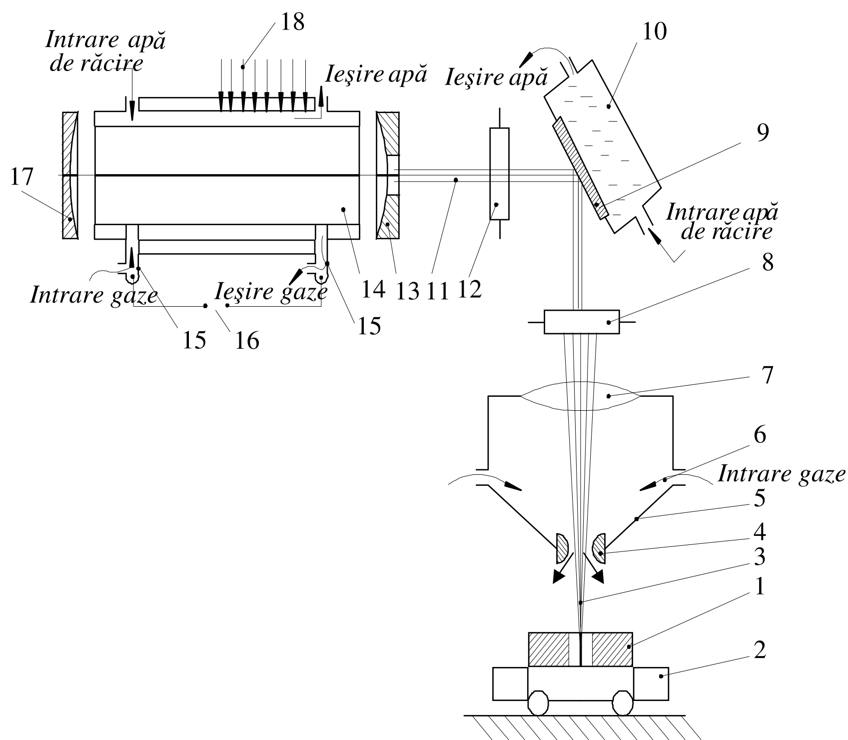


Fig. 9.46. Schema de principiu a unei instalații de prelucrare dimensională cu fascicul laser, cu mediu activ gazos:
1 - piesa-semifabricat; 2 - masa de uzinaj fotonic; 3 - fascicul de fotoni concentrat şi focalizat; 4 - duză; 5 - ajutaj; 6 - gaze de protecție; 7 - lentile de focalizare; 8, 12 - obturator de siguranță; 9 - lentilă de reflexie; 10 - sistem de răcire; 11 - fascicul de fotoni orizontal; 13 - lentilă transparentă; 14 - cavitate de rezonanță; 15 - tuburi de descărcări; 16 - sursa de curent; 17 - lentilă de reflexie; 18 - radiația de pompaj.

lungimea şi diametrul cavităţii de rezonanţă (tubului de descărcare). Din considerente constructive şi de randament s-au construit lasere cu tuburi în formă de „U'' sau cu tuburi paralele. Folosind o radiaţie de pompaj laterală 18 se pot obţine puteri de până la 60 kW.

Ca urmare a inversiunii de populaţie create, în cavitatea de rezonanţă are loc emisia laser care este amplificată de sistemul de lentile opace 17 şi semitransparentă 13. Laserul cu mediul activ gazos este eficient pentru lucrul cu fascicul continuu, realizându -se densităţi de putere de $10^4 \ldots 10^8$ W/cm^2.

Pentru diversificarea aplicării laserilor, în cât mai multe domenii se desfăşoară o intensă activitate de cercetare pentru obţinerea de emisii laser în condiţii de eficienţă şi, mai ales, pentru obţinerea de emisii de puteri mari. Au apărut în acest mod laserii cu semiconductori, laserii chimici, laserii ionici, la care durata impulsului poate ajunge până la 10^{-1}s şi densităţi de energie de câteva milioane de ori mai mari decât laserii obişnuiţi.

9.7.3.4. Parametrii procesului de prelucrare dimensională cu fascicul de fotoni

Prelucrarea dimensională cu fascicul de fotoni a anumitor materiale presupune o corelare optimă a parametrilor fasciculului laser (energia impulsului, durata impulsului, numărul de impulsuri, diametrul petei de focalizare, poziţia focalizării faţă de suprafaţa de prelucrat, parametrii energiei de pompaj etc.), a parametrilor de material (capacitatea de reflexie, capacitatea de absorţie, densitatea, temperatura de topire, temperatura de vaporizare, conductivitatea termică etc.) cu caracteristicile tehnologice cerute suprafeţei prelucrate (formă şi dimensiuni, secţiunea longitudinală şi transversală, precizie dimensională, rugozitatea suprafeţei, adâncimea zonei influenţate termic etc.).De obicei, desprinderea şi îndepărtarea particulelor de material se produce sub acţiunea factorilor termici ce provoacă topirea şi vaporizarea materialului, care este expulzat din zona de prelucrare datorită presiunii vaporilor formaţi.

Adâncimea de topire δ, a materialului, sub acţiunea unui impuls laser se determină cu relaţia:

$$\delta = \frac{0{,}16}{\rho \cdot L_t} \cdot q(t_i - t_p) \quad , \tag{9.30}$$

în care: ρ este densitatea materialului; q - densitatea de putere; L_t -căldura latentă de topire; t_i - timpul de începere a încălzirii; t_p - timpul de terminare a încălzirii.

Adâncimea alezajului h şi diametrul alezajului D se determină cu relaţiile:

$$h = \left[\left(\frac{D_0}{\mathrm{tg}\theta} \right)^3 + \frac{3E}{\pi \cdot \mathrm{tg}^3\theta q_0} \right]^{-\frac{1}{3}} - \frac{D_0}{\mathrm{tg}\theta} \tag{9.31}$$

$$D = 2\left[D_0^3 + \frac{3 \cdot E \cdot \mathrm{tg}\theta}{\pi \cdot q_0}\right]^{-1/3} , \qquad (9.32)$$

în care: D_0 este diametrul inițial al fasciculului laser; E - energia impulsului; θ - unghiul conului de focalizare; q_0 - energia specifică de vaporizare a materialului.

Pentru execuția alezajelor adânci trebuie să se folosească un sistem optic cu ajutorul căruia să se obțină pentru θ valoarea zero. De asemenea, din analiza relațiilor (9.31) şi (9.32) se constată că adâncimea de pătrundere depinde de energia radiației, dependență liniară până la anumite limite când eficiența prelucrării scade datorită fenomenului de ecranare (fenomen produs de degajarea vaporilor metalului de prelucrat).

Prelucrabilitatea cu fascicul de fotoni este în mare măsură condiționată şi de constantele termofizice ale materialului de prelucrat. La prelucrarea dimensională cu îndepărtare de material, regimul de prelucrare trebuie astfel condus încât temperatura zonei de interacțiune fascicul-laser-obiect să fie mai mare decât temperatura de vaporizare.

Forma geometrică a suprafețelor alezajului prelucrate este influențată de modul de interacțiune dintre radiația laser şi material. Geometria craterului de pătrundere în material depinde de felul focalizării şi de cum s-a reglat poziția focarului în raport cu suprafața de prelucrat. Forma alezajului în funcție de zona în care se face focalizarea fasciculului de fotoni se prezintă în figura 9.47.

Asigurarea preciziei de prelucrare depinde de reglarea sistemului optic al rezonatorului, reglarea lentilelor de focalizare, fixarea poziției suprafeței de prelucrat etc.

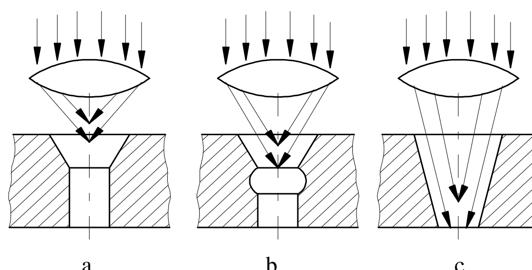


Fig. 9.47. Forma alezajului în funcție de zona de reglare a focarului fasciculului de fotoni: a - la nivelul suprafeței de prelucrat; b - în interiorul alezajului; c - la ieşirea din alezaj.

9.7.3.5. Posibilitățile de utilizare ale prelucrării dimensionale cu fascicul de electroni

Domeniile de aplicare ale prelucrării cu fascicul de fotoni sunt rezultatul proprietăților şi caracteristicilor fasciculului laser. Principalele caracteristici care

condiţionează domeniile de utilizare sunt:

- permite prelucrarea de la distanţă fără ca instalaţia laser să vină în contact cu semifabricatul, folosind aparatură optică simplă (fibre optice);
- asupra materialului de prelucrat, fasciculul acţionează fără impuls mecanic, deci este posibilă prelucrarea peliculelor şi straturilor ultrasubţiri, fără pericolul deformării;
- în zona de interacţiune a fasciculului laser cu suprafaţa de prelucrat se pot atinge valori locale foarte mari ale temperaturii, suficiente să topească şi să vaporizeze oricare material;
- fasciculul laser poate fi concentrat şi focalizat în spaţii foarte mici, impulsul putând avea durate foarte mici şi densităţi de energie foarte mari, ceea ce permite prelucrarea peliculelor foarte subţiri şi a orificiilor foarte mici;
- zona influenţată termic este foarte mică (de 8…12 ori mai mică decât la prelucrarea cu fascicul de electroni), suprafaţa prelucrată rezultând cu o duritate foarte mare (de circa 6…8 ori mai mare decât materialul de bază);
- se pot prelucra materiale în stare de magnetizare sau plasate în câmpuri magnetice sau electrice, deoarece fasciculul nu este deviat şi nici afectat de aceste câmpuri;
- fasciculul de fotoni este reflectat de suprafaţa de prelucrat în proporţie de 10…95% în funcţie de constantele termofizice ale materialului şi starea suprafeţei, de aceea sunt necesare măsuri speciale în vederea prelucrări anumitor suprafeţe (acoperiri fine antireflectante, schimbarea intensităţii fasciculului în timpul prelucrării etc.).

Câteva din aplicaţiile de mare eficienţă ale prelucrării dimensionale cu fascicul de fotoni sunt:

- execuţia orificiilor pătrunse (fig. 9.48. a) sau nepătrunse (fig. 9.48. b) cu diametre variind de la câţiva microni până la 0,5 mm, în piese cu grosimi de 0,1…12,0 mm din materiale dure şi extradure, electroconductoare şi neelectroconductoare (sticlă, ceramică, textile, mase plastice, lemn etc.).
- execuţia orificiilor multiple de la diferite filiere, matriţe de injecţie mase plastice etc. (fig. 9.48. c);
- execuţia de perforări în filtre de diamant (fig. 9.48. d), de ceramică, din materiale extradure, în pietre preţioase şi semipreţioase pentru lagărele ceasornicelor şi ale aparaturii de mare precizie, în diafragmele aparatelor optice şi electronice, în inelele de ferită folosite la memoria calculatoarelor etc.;
- prelucrarea canalelor şi trasarea reticulelor pentru aparatura optică, cu lăţime de ordinul 5…10 μm (fig. 9.48. e);
- execuţia fantelor şi orificiilor lenticulare de dimensiuni foarte mici şi configuraţie complexă (fig. 9.48. f);
- echilibrarea dinamică a celor mai precise aparate (giroscoape de bord), permiţând îndepărtarea de material de circa 10^{-3}….10^{-4}g fără aplicarea de forţe mecanice;

- calibrarea foarte precisă a unor elemente folosite în schemele electrice (capacităţi, rezistenţe, elemente semiconductoare etc.).

- debitarea la dimensiune a unor semifabricate de grosime foarte mică (folii ultrasubţiri) şi a firelor ultrasubţiri, cu o zonă influenţată termic foarte mică şi o calitate foarte bună a suprafeţei (fig. 9.45. g);

- inscripţionări şi gravări (fig. 9.45. h) în materiale dure şi extradure electroconductoare sau neelectroconductoare etc.

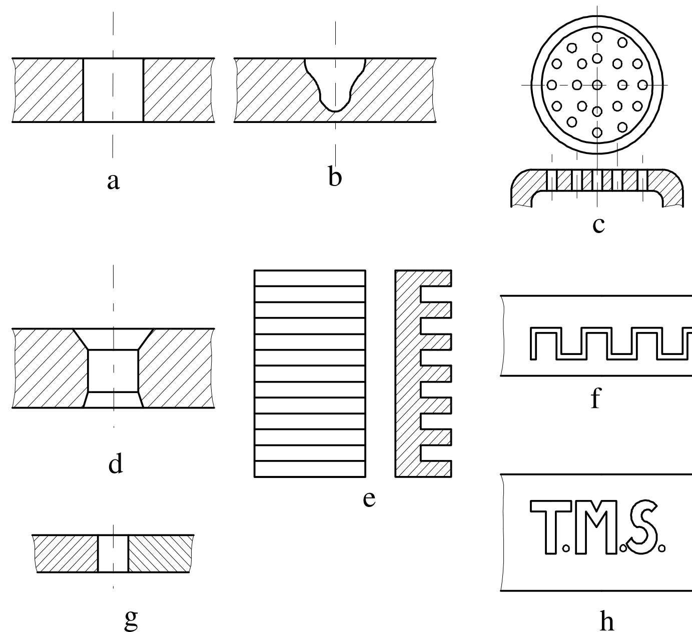
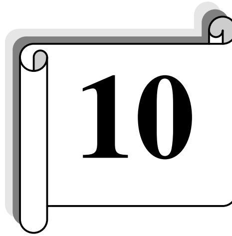


Fig. 9.48. Câteva din cele mai eficiente utilizări ale prelucrării dimensionale cu fascicul de fotoni: a - găurirea pătrunsă; b - găurirea nepătrunsă; c - execuţia orificiilor multiple; d - execuţia orificiilor complexe; e - trasarea reticulelor; f - execuţia fantelor complexe; g - debitări; h - inscripţionări şi gravări.

Pe măsura dezvoltării microelectrotehnicii şi microelectronicii, apariţiei de noi materiale cu caracteristici fizico-mecanice şi fizico-chimice cu totul şi cu totul deosebite, gama aplicaţiilor prelucrării dimensionale prin microaşchiere se lărgeşte din ce în ce mai mult, existând premiza că până în anul 2 010 aceasta să reprezinte 8…10 % din întreaga gamă de prelucrări dimensionale.



CIM – COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING

10.1. INTRODUCERE

Procesul de producţie este o sursă de sănătate şi prosperitate în orice naţiune industrializată. Cu toate că producţia a jucat un rol important în timpul evoluţiei omului, cea mai rapidă dezvoltare a cunoscut-o în ultimele două secole. Primele produse complexe, ca de exemplu, ceasurile de mână au fost realizate de meşteri cu îndemânare foarte mare, dar care aveau cunoştinte teoretice limitate despre comportamentul static sau dinamic al obiectului pe care îl realizau. În plus, aceşti meşteri erau nevoiţi să folosească unelte rudimentare şi materiale brute a căror compoziţie, proprietăţi fizice şi chimice nu erau cunoscute pe deplin sau chiar deloc. Pentru realizarea unui produs era folosită în marea majoritate a cazurilor energia umană sau, în unele cazuri, puterea vântului şi a apei. Energie adecvată pentru procesele de producţie a putut fi folosită o dată cu inventarea motorului cu aburi. Întelegerea comportamentului static şi dinamic al unor corpuri rigide şi a proprietăţilor materialelor a început o dată cu conceptia şi apariţia primelor echipamente automate de producţie. Aceste maşini erau controlate de legături şi manete şi erau propulsate, mai ales, prin curele. Ele au devenit coloana vertebrală a fabricilor automate din zilele noastre. Îmbunătăţiri ale proceselor de producţie au fost aduse şi de inventarea motorului electric. În prezent a devenit tipic ca o maşină de producţie să posede propriul motor. Conceptul de diviziune a muncii şi de producţie pe linie a pieselor/produselor a condus la inventarea proceselor de producţie în masă. În acest fel, produse de înaltă calitate puteau fi

procurate de oameni care în general nu-şi permiteau să cumpere produse scumpe, făcute pe comandă. Deoarece investiţiile făcute în implementarea producţiei pe bandă erau mari, schimbări pentru diversificarea gamei de produse erau foarte dificil de făcut din punct de vedere economic. Din acest motiv, gama de produse oferită clienţilor era redusă. De aici şi conceptul de flexibilitate a producţiei care trebuia să fie la curent cu cerinţelor pieţii. O dată cu invenţia tuburilor electronice şi a tranzistorilor a devenit posibilă construirea de controloare de proces care puteau într-o mică masură să fie programate pentru anumite operaţii necesare producţiei. O realizare majoră în automatizarea proceselor de producţie a fost făcută în 1947, când a fost construită prima maşină cu control numeric (CN), la Massachusetts Institute of Technology. Era pentru prima dată când combinaţii de echipamente fizice, electronice (hardware) şi programe (software) erau folosite cu succes într-o singură unitate de control. Apoi, o dată cu apariţia tehnologiilor de realizare pe scare largă a tranzistorilor şi a altor circuite electronice (VLSI – *Very Large Scale Integration*), familii de minicalculatoare şi microcalculatoare au început să fie folosite în controlul proceselor de producţie. O importanţă deosebită a acestor calculatoare a fost şi este aceea că pot fi adaptate foarte uşor unui anumit proces de producţie printr-un simplu program. Pe măsură ce automatizarea proceselor de producţie a impulsionat procesul de dezvoltare, a devenit evident că tehnologiile convenţionale nu mai făceau faţă cerinţelor pieţii. În acest fel calculatoarele aveau cel mai mare potenţial pentru îmbunătăţirea operaţiilor implicate în producţie. De aici şi noţiunea de *Computer Integrated Manufacturing* (CIM). Pentru controlul unui proces de producţie cu ajutorul calculatorului, maşinile-unelte implicate au nevoie de interfeţe speciale pentru a fi compatibile cu acesta. În plus, operatorii umani trebuie să fie capabili să comunice cu calculatorul, de aceea numeroase tehnologii au fost şi sunt dezvoltate pentru comunicarea om-maşină (procesare grafică, procesare de imagini, construire de baze de date inginereşti, modelare, simulare, programare, senzori etc.). Aceste tehnologii au cicluri de viaţă foarte scurte, şi pentru acest motiv este foarte greu să le evaluezi importanţa. În multe cazuri, evoluţia unor astfel de tehnologii este aşa rapidă, încât sisteme concepute acum câţiva ani sunt acum pur şi simplu piese de muzeu.

Calculatorul a avut şi are un impact substanţial în aproape toate activităţile dintr-o fabrică. Adesea, introducerea calculatoarelor a schimbat structura organizaţională a departamentului respectiv şi a făcut necesară adoptarea unor structuri manageriale complet noi. Cum un calculator este capabil să efectueze munci repetitive într-un mod eficient, multe funcţii manageriale s-au schimbat dramatic.

Viitorul dezvoltării tehnologiei calculatoarelor în procesul de producţie nu poate fi prezis. Va depinde de diferite aspecte, inclusiv de dezvoltarea echipamentelor fizice şi a programelor de calculator, de posibilitatea de a simplifica şi a standardiza procesele de producţie etc.

Este destul de greu de definit ce este practic CIM. Părerile specialiştilor nu

sunt unanime în definirea acestei noţiuni. CIM a fost descris ca fiind orice, de la o filsofie de producţie şi până la un program specific de calculator folosit într-o maşină cu control numeric. De exemplu, Johansen şi colaboratorii propune un model CIM care include toate mijloacele de comunicare dintr-o companie, aplicaţiile pe calculator, inclusiv planificarea materialelor, controlul calităţii, sistemele de inspecţie şi managementul informaţiilor (colectare, stocare şi folosire).

Termenul CIM poate fi utilizat pentru a defini integrarea ingineriei, economiei, producţiei şi managementului funcţiilor unei companii, de la conceperea şi până la distribuirea unui nou produs. Acest termen derivă din cartea lui Harrington (1973 – *Computer Integrated Manufacturing*) şi în care acest termen a fost folosit pentru prima oară în relatie cu CAD (*Computer Aided Design*) – proiectare asistată de calculator şi CAM (*Computer Aided Manufacturing*) – producţie asistată de calculator. Nucleul cărţii era însă bazat pe CAM. Până la începutul anilor 80, în SUA şi Japonia circula o definiţie a CIM, restrânsă doar la producţie şi la dezvoltarea de noi produse, în care CIM = CAD + CAM.

O dată cu evoluţia calculatoarelor şi folosirea acestora pentru planificarea şi controlul operaţiilor implicate în procesul de producţie, au fost creaţi diverşi noi termeni:

- CAP (*computer-aided planning*) – această activitate vizează generarea asistată de calculator a unui plan pentru producerea unui nou produs. Planul procesului trebuie să descrie operaţiile de producţie implicate şi secvenţa acestora;
- CAQ (*computer-aided quality control*) – această activitate combină toată munca de control-calitate a unui proces de producţie. În alte cazuri, aceeaşi activitate este numită CAT (*computer-aided testing*) sau CAI (*computer-aided inspection*);
- PP&C (production planning and control) – această funcţie se ocupă cu procesele organizaţionale ale CIM, ca de exemplu, planificarea resurselor şi materialelor necesare producţiei, estimarea de tipuri de producţie, controlul producţiei, etc.

Aceşti termeni, împreună cu CAD/CAM formează activităţile generale într-un proces de producţie integrat (CIM). De aici şi o definiţie mai cuprinzătoare a CIM-combinarea tuturor activităţilor menţionate mai sus într-un singur sistem (figura 10.1):

$$CIM = CAD+CAP+CAQ+PP\&C \ .$$

În multe companii, iniţial CIM se concentrează doar pe integrarea calculatoarelor în procesul de producţie. Alte funcţii sau operaţii sunt apoi legate de producţie. De aceea, nucleul CIM poate fi considerat element de producţie. Cartea lui Harrigton se referea la CIM ca integrarea calculatoarelor în toate funcţiile de afaceri ale unei companii. Termenul integrare din CIM poate fi explicat în două feluri. În primul rând, când operaţii sau funcţii sunt integrate, părţile

componente ale acestora nu trebuie să fie distincte față de întreg. Aceasta explicație nu este relevantă în cazul CIM. CIM foloseşte termenul integrare în sensul de legătură. Toate procesele sau funcțiile de afaceri ale unei companii de producție sunt astfel „legate” între ele, în cazul CIM, de calculator. Cu alte cuvinte, CIM implementat într-o companie tinde să o transforme într-o „companie fără hârtie”, în sensul că toate hotărârile şi deciziile nu circulă în plicuri şi pe hârtie, ci mai

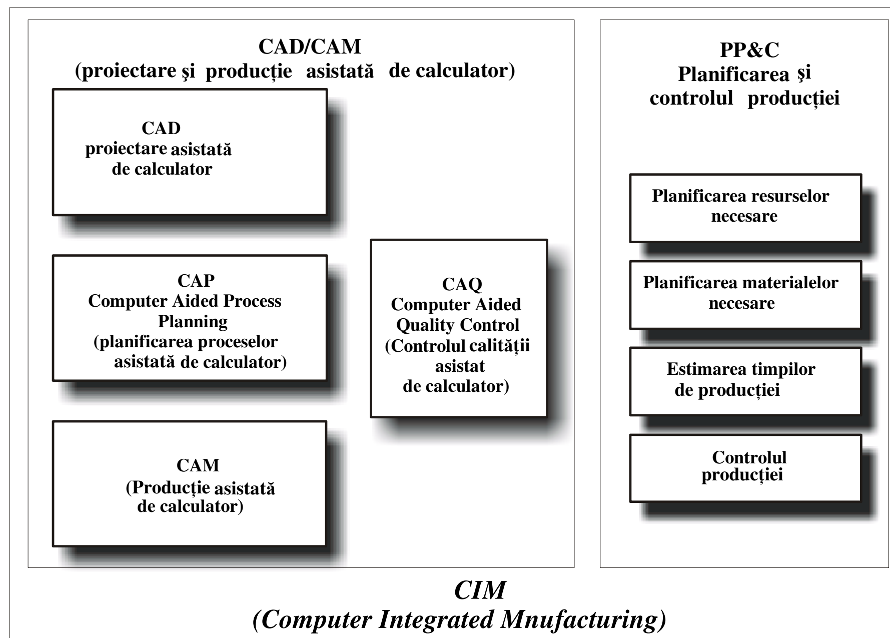


Fig. 10.1. Activitățile CIM.

degrabă prin poşta electronică către terminalele sau calculatoarele personale ale angajatilor. În plus, cataloagele de standarde nu mai sunt cărți, ci baze de date electronice. Schițele de proiectare nu mai sunt ținute sub formă de desen pe hârtie, ci ca modele CAD pe calculatoare. Comunicarea cu exteriorul companiei (comunicarea cu clienții) se face nu prin comunicații convenționale (telefon, scrisori), ci mai degrabă printr-un aşa numit *proces de interschimbare date electronice* – EDI (*Electronic Data Exchange*), prin care calculatorul fabricii comunică cu calculatorul clienților. De aceea, CIM poate fi definit şi ca introducerea calculatoarelor în toate sau aproape toate activitățile implicate într-o firmă de producție.

De ce este nevoie de CIM? În primul rând pentru că vine în întâmpinarea competiției acerbe între companiile dintr-o economie de piață sănătoasă. Aceste presiuni de pe piață se pot materializa prin reduceri sau creşteri. Reduceri înseamnă

reducerea timpilor de producție, timpilor de livrare, a costurilor şi reducerea pieselor din inventar. Creşterea se referă în principal la calitatea produselor şi a răspunderii față de clienți. Se poate discuta faptul că la aceeaşi creştere a calității se referă şi implementarea totală a calității (TQM – Total Quality Management) şi în acest caz care este rolul CIM? Răspunsul este că se ocupă de manevrarea informațiilor. Acest lucru poate fi explicat printr-un exemplu. În prezent, din ce în ce mai multe companii oferă clienților posibilitatea de a-şi desena singuri produsele pe unele din calculatoarele din sălile de prezentare (*customer-driven manufacturing*). De exemplu, clientul îşi poate desena autoturismul, iar producătorul promite livrarea acestuia într-un număr de zile. Pentru producător, CIM dă posibilitatea alegerii proceselor logistice, organizatorice şi de producție necesare pentru a realiza comanda clientului.

Un alt doilea motiv este folosirea cât mai bună a datelor şi informațiilor. Aceasta presupune în primul rând organizarea şi coordonarea informațiilor, care poate fi realizată prin construirea de baze de date electronice. În al doilea rînd, aceste date sau informații trebuie să fie disponibile în orice moment şi într-un mod facil.

Un al treilea motiv este facilitarea comunicării în interiorul unei companii. O organizație de producție poate să fie controlată în mod efectiv, doar dacă cel care efectuează coordonarea şi controlul este la curent cu ceea ce se întâmplă în interiorul acesteia. De multe ori, folosind metode convenționale, timpul necesar colectării şi analizării datelor este relativ mare, astfel încât în momentul când rapoartele sunt gata, pot trece până la două săptamâni, timp în care procesele din compania respectivă se pot schimba radical.

Componentele sau activitățile CIM vor fi descrise mai în detaliu în paragrafele următoare. Ordinea de prezentare a acestora este aleatoare şi nu are nici un fel de importanță.

10.2. PROIECTARE ŞI PRODUCȚIE ASISTATĂ DE CALCULATOR CAD/CAM

10.2.1. Generalități

CAD – *Computer Aided Design*, şi CAM – *Computer Aided Manufacturing*, sunt tehnologii sau curente care privesc folosirea calculatoarelor în procesele de proiectare şi producție. Aceste curente sunt din ce în ce mai puternice şi tind spre integrarea tot mai strânsă dintre proiectare şi producție, două activități care în mod tradițional erau tratate complet separat într-o companie de producție.

O posibilă definiție pentru CAD ar fi, după Groover, folosirea sistemelor de calculatoare parțial sau integral în crearea, modificarea, analiza sau optimizarea unui proces de proiectare. Sistemele digitale de calcul sunt în general partea fizică

(hardware) şi programele (software), necesare realizării unui process specific pentru o anumită companie sau fabrică. CAD hardware conține de obicei un calculator, una sau mai multe stații de lucru, tastaturi şi alte echipamente periferice (ca de exemplu imprimante, plottere, scannere etc.), memoria principală (fig. 10.2). Software-ul CAD conține programe de calculator capabile să implementeze aplicații grafice pe sistem, plus alte aplicații pentru alte facilități inginereşti necesare respectivei companii.

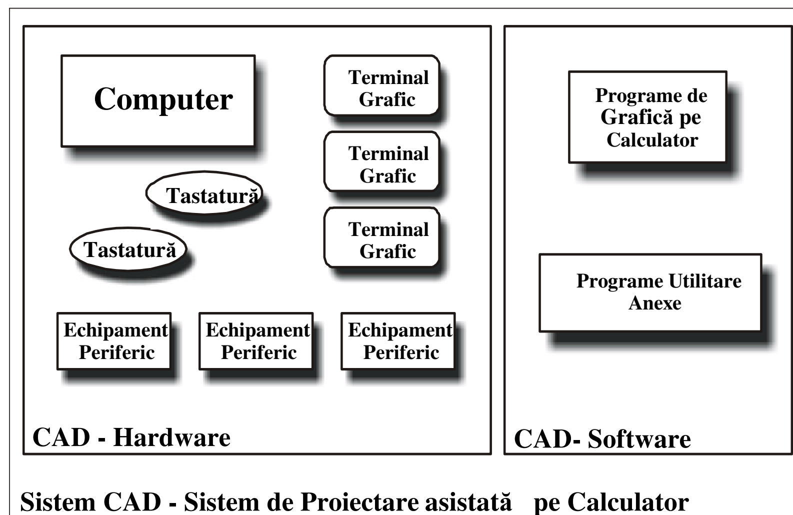


Fig. 10.2. Componentele unui sistem CAD.

Exemple de asemenea aplicații anexe pot fi de exemplu analiza de stres a componentelor, răspunsul dinamic ale mecanismelor, transferul de căldură, programarea de calcul numeric, etc. Toate aceste aplicații anexe sunt însă direct dependente de compania sau fabrica care le foloseşte în funcție de cerințele şi necesitățile acesteia.

CAM – *Computer Aided Manufacturing*, poate fi definit ca folosirea sitemelor digitale de calculatoare pentru a planifica, conduce şi controla operațiile unei fabrici de producții prin interfață calculator, cu acces direct sau indirect la resursele fabricii.

Aplicațiile CAM pot fi în general clasificate în două mari tendințe:

- monitorizare şi control cu ajutorul calculatoarelor digitale – care sunt aplicații directe, în care calculatorul este conectat direct la procesul de producție în scopul monitorizării şi controlului acestuia;

- aplicații utilitare de producție – care aplicații indirecte, în care calculatorul este folosit pentru suportul operațiilor de producție în fabrică şi în care nu există o interfață directă între acesta şi procesul de producție.

Prima categorie poate fi împărţită la rândul ei în două grupe: aplicaţii de monitorizare şi aplicaţii de control. Monitorizarea procesului de producţie cu ajutorul calculatoarelor digitale presupune o legătură directă între acestea, în scopul observării directe a proceselor implicate şi a colectării de date despre acestea. Controlul cu ajutorul calculatoarelor este puţin diferit de monitorizare, în sensul că este vorba nu numai de observare directă, ci şi de intervenţie în procesul de producţie în funcţie de parametrii colectaţi. În cazul monitorizării, controlul procesului rămâne în mâinile unui operator uman, care poate folosi sau nu informaţiile colectate de calculator prin observare directă. În cel de-al doilea caz, calculatorul intervine imediat, în funcţie de necesităţi pentru modificarea ori corectarea procesului de producţie. În figura 10.3 se poate vedea diferenţa între cele două tipuri de aplicaţii – monitorizare şi control. Fluxul de date în cazul monitorizării este unidirecţional şi anume de la procesul de producţie către calculator, care stochează astfel datele obţinute. În cazul controlului, fluxul de date este bidirecţional, permiţând calculatorului să emită semnale sau comenzi către procesul de producţie în funcţie de parametrii observaţi şi de algoritmii conţinuţi în programele sale.

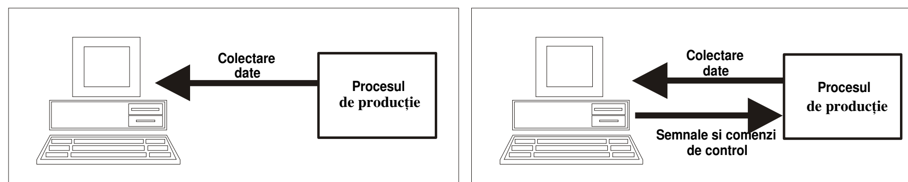


Fig. 10.3. Aplicaţiile CAM:
a - aplicaţie CAM de monitorizare; b - aplicaţie CAM de control.

Pentru cea de a doua categorie de aplicaţii CAM, cea a aplicaţiilor indirecte utilitare, computerul joacă un rol de suport al proceselor de producţie, neavând o legătură directă cu acestea. Calculatorul este, în acest caz, folosit în afara liniei de producţie (*off-line*) pentru realizarea de planuri, termene, previziuni, instrucţiuni, în aşa fel încât resursele fabricii să fie folosite în mod efficient. În aceste aplicaţii, intervenţia umană este deseori necesară, atât pentru introducerea de date în calculator, cât şi pentru interpretarea rezultatelor obţinute de acesta şi pentru a implementa comenzile în consecinţă.

10.2.2. Ciclul de producţie

Pentru înţelegerea mai bună a rolului CAD/CAM în procesul de producţie, se vor prezenta în continuare câteva funcţii şi activităţi necesare în proiectarea şi producţia unui produs.

În figura 10.4 sunt prezentate etapele unui ciclu de producţie.

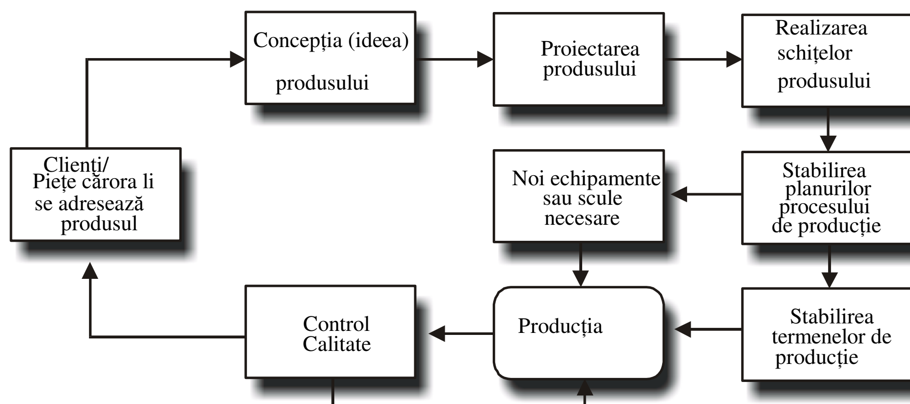


Fig. 10.4. Ciclul de producţie (după Groover s.a. 1984).

Acest ciclu de producţie este cerut în primul rând de clienţii şi pieţele de desfacere care doresc respectivul produs. În funcţie de tipul clienţilor sau a pieţelor, pot exista diferenţe între ciclurile de producţie a diverselor produse. De exemplu, în anumite cazuri, procesul de proiectare a produsului este realizat de client, iar produsul este fabricat de altă companie. În alte cazuri, proiectarea şi producţia este realizată de aceeaşi companie/fabrică. Indiferent de caz, ciclul de producţie începe cu o idee, un concept pentru respectivul produs. Acest concept sau idee este analizată, îmbunătăţită, aprobată şi tranformată într-un plan de producţie prin întermediul ingineriei de proiectare. Planul obţinut conţine schiţe inginereşti care arată atât cum se poate produce acest produs, cât şi specificaţiile de producţie. Un plan de producţie este realizat pentru specificarea secvenţei de producţie necesară pentru realizarea produsului. În anumite cazuri este nevoie de cumpărarea de noi echipamente de producţie. Stabilirea termenelor de producţie este următoarea etapă din ciclul de producţie. Aceasta este de fapt angajamentul producătorului de a realiza o anumită cantitate din acel nou produs până la o anumită dată. O dată ce toate aceste detalii sunt puse la punct, procesul de producţie poate începe. Procesul de producţie este evident urmat de controlul de calitate al produsului respectiv şi, în caz că acesta corespunde parametrilor ceruţi, este livrat clientului.

Impactul CAD/CAM în ciclul de producţie se manifestă în toate etapele acestuia, aşa cum se poate vedea din figura 10.5.

CAD este utilizat în procesul de proiectare, iar automatizarea procesului de schiţare/desenare a noului produs şi de stabilire a termenelor de producţie aduce o mai mare eficientizare a acestuia. În timpul producţiei calculatoarele sunt folosite, aşa cum s-a menţionat anterior, pentru monitorizarea şi controlul proceselor implicate în procesul de producţie. În controlul de calitate, calculatoarele sunt folosite pentru a realiza inspecţii tehnice automate şi teste de performanţă asupra produsului sau a componentelor acestuia.

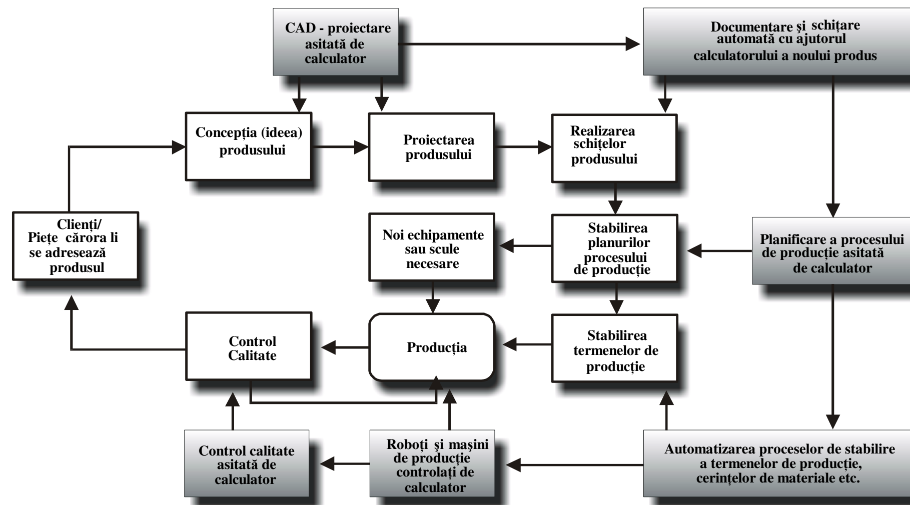


Fig. 10.5. Impactul CAD/CAM în ciclul de producţie (după Groover ş.a. 1984).

10.2.3. Automatizarea şi CAD/CAM

Relaţia dintre CAD/CAM şi automatizare, în ceea ce priveste ciclul de producţie, este următoarea: rolul atât al automatizării, cât şi al CAD/CAM este acela al reducerii diferitelor elemente temporale din cadrul acestui ciclu. Realizând acest scop, se poate mări productivitatea muncii şi se pot ridica standardele de viaţă.

Există însă diferenţe în felul în care ciclul de producţie este implementat la nivelul diverselor companii în funcţie de tipul de activitate de producţie, astfel:

- producţie în *flux continuu* – producţie continuă dedicată unui produs, ca de exemplu, producţia într-o rafinărie sau o uzină chimică;

- producţie de *masă* – producţie dedicată unor mari cantităţi din acelaşi produs (cu eventuale variaţii minore de proiectare), ca de exemplu, producţia de automobile;

- producţie de *serie* (*pe loturi*) – care implică producerea unor loturi de cantitate medie a aceluiaşi produs sau componentă; loturile pot fi produse doar o singură dată sau în mod repetat, ca de exemplu, producţia de încălţăminte, confecţii, cărţi;

- producţia *singulară* (*unicat*) - producerea unor cantităţi mici, de multe ori a unui singur produs special; aceste produse sunt de multe ori complexe din punct de vedere tehnologic, ca de exemplu, prototipuri, industria aviatică;

Pentru fiecare tip de producţie, automatizarea şi-a spun cuvântul, aşa cum se poate vedea din tabelul 10.1.

Tabelul 10.1. *Automatizarea proceselor de producție*

Tipul de producție	Automatizări
Flux continuu	Senzori pentru măsurarea parametrilor de proces; strategii de control şi optimizare; fabrici complet automatizate, controlate de calculator.
De masă	Linii de asamblare parțial sau total automatizate; roboți industriali pentru sudarea în puncte, manevrearea produsului, încărcarea acestuia în maşină de producție, vopsirea cu jet, etc.; sisteme automate de manipulare a materialelor brute; monitorizarea producției cu ajutorului calculatoarelor.
De serie (pe loturi)	Maşini cu control numeric (CN), cu control numeric direct, cu control numeric pe calculator; roboți pentru sudarea în arc electric, manipularea pieselor componente; sisteme integrate de producție (CIM);
Singulară (unicate)	Control numeric, control numeric cu ajutorul calculatorului.

În mod tradițional, automatizarea producției s-a ocupat mai mult de echipamentele folosite şi de procesele de producție. În contrast, CAD/CAM, în afară de accentul pus pe folosirea calculatorului, se remarcă prin faptul că intervine şi la nivelul proiectării şi a planificării care preced producția.

Pentru a accentua diferența dintre automatizare şi CAD/CAM, se poate considera următorul model matematic (Groover şi Hughes, 1980):

- fie T_1 timpul necesar pentru a produce o unitate dintr-un produs; acesta va fi suma tuturor timpilor asociați proceselor individuale pentru fiecare componentă a produsului, plus timpul necesar asamblării, inspecției de calitate şi a împachetării unui singur produs;

- fie T_2 timpul necesar planificării şi pregătirii realizării unui singur lot de producție; T_2 va include astfel timpul necesar comandării materialelor brute, timpul necesar stabilirii timpilor de producție şi timpul de pregătire pentru fiecare operație;

- fie T_3 timpul necesar proiectării produsului; acest timp include timpul necesar stabilirii prețului, al proiectării de scule sau maşini speciale şi alți timpi pentru realizarea unor procese necesare pentru a avea produsul gata pentru producție.

Doi parametrii adiționali sunt necesari pentru definirea acestui model matematic şi anume:

– numărul de loturi produse pe tot parcursul ciclului de viață al produsului, notat cu B;

– numărul de unități produse în fiecare lot, notat cu Q.

Ținând cont de acestea, timpul T pentru producerea produsului poate fi definit printr-o relație de forma:

$$T = BQT_1 + BT_2 + T_3 \quad . \tag{10.1}$$

Timpul mediu necesar pe unitate de produs poate fi definit astfel:

$$T_m = T_1 + \frac{T_2}{Q} + \frac{T_3}{BQ} \quad . \tag{10.2}$$

Folosind cele definite mai sus, diferenţa între automatizarea procesului de producţie şi CAD/CAM poate fi exprimată astfel: automatizarea este interesată în principal de micşorarea T_1 şi T_2, cu accent pe timpul de producţie al unei unităţi (T_1), în timp ce tehnologia CAD/CAM are ca principal scop micşorarea tuturor celor trei termeni T_1, T_2, T_3, cu accente pe T_2 şi T_3.

O listă cu cele mai importante realizări în CAD/CAM este prezentată în tabelul 10.2.

Tabelul 10.2. *Realizări CAD/CAM*

Sisteme iteractive de grafică
Grafică animată pe calculator
Analiza proiectării asistate pe calculator (analiza de stres a materialelor, de temperatură, etc.)
Schiţare automată a produsului
Baze de date pentru proiectare şi producţie
Planificarea proceselor de producţie asistată pe calculator
Standarde de lucru generate de calculator
Controlul numeric al proceselor de producţie
Stabilirea automată a termenelor de producţie
Planificarea materialelor necesare procesului de producţie
Controlul numeric direct
Roboti controlaţi de calculator
Aplicaţii controlate de microprocesoare
Inspecţie asistată pe calculator (CAI – *Computer Aided Inspection*)
Control calitate asistat pe calculator (CAT)

10.2.4. Fundamentele CAD

Aşa cum s-a menţionat anterior, CAD presupune orice tip de activitate de proiectare care foloseşte calculatorul pentru dezvoltare, analiză sau modificare a unei proiect ingineresc. Deci, calculatorul este elementul esenţial al CAD. Îmbunătăţirea continuă a performantelor acestuia a făcut şi face posibilă dezvoltarea în timp real a procesării de imagini, a controlului proceselor şi a multor altor funcţii, care sunt prea complexe şi consumatoare de resurse pentru a fi realizate manual. Un calculator digital modern este o maşină electronică care poate realiza operaţii matematice şi logice după un program dinainte prestabilit. În general există trei componente de bază ale unei configuraţii fizice a unui calculator, şi anume:

- unitatea centrală de prelucrare (UCP) – cea care reglează şi controlează operarea tuturor componentelor sistemului şi realizează operaţiile aritmetice şi logice. UCP este formată dintr-o *unitate de control* care controlează diferitele operaţii specificate de instrucţiunile unui program, şi o *unitate aritmetică-logică* (UAL) care realizează operaţiile aritmetice şi logice ca adunarea, scăderea, multiplicarea şi comparaţiile în format binar;

- memoria (M) – care este formată din unităţi de stocare a datelor în

format binar; M stochează toate datele şi înstructiunile unui program. În mod convențional, există două tipuri de memorii: memoria primară sau principală, care este legată direct de UCP, şi memoria auxiliară, care este responsabilă cu stocarea programelor şi datelor;

- sistemul de intrare/ieşire – sistem care are rolul de a realiza comunicația cu diversele echipamente periferice folosite cu respectivul calculator.

Sistemele CAD moderne sunt bazate pe grafică interactivă pe calculator (ICG– *Interactive Computer Graphics*). ICG este un system în care calculatorul este folosit pentru a creea, tranforma şi afişa date sub formă de imagini şi simboluri. Operatorul în ICG este proiectantul, care comunică date şi comenzi cu sistemul prin intermediul unor diverse tipuri de echipamente de intrare. La rândul său, calculatorul comunică rezultatele cu ajutorul tuburilor catodice (CRT). Proiectantul creează astfel o imagine pe monitor prin introducerea de comenzi şi date, pentru apelarea unor programe calculator stocate în memoria fizică a acestuia. În marea majoritate a cazurilor imaginile sunt formate din forme geometrice, ca de exemplu, linii, puncte, cercuri, etc. În general un sistem ICG e o combinație de hardware şi software (fig. 10.2). Hardware-ul include o unitate centrală de prelucrare – CPU, unul sau mai multe terminale grafice, precum şi diverse unități periferice ca: imprimante, scanere, plottere etc. Software-ul include programele de calculator necesare implementării procesării grafice.

Deci, unul din principalele componente ale unui sistem CAD este sistemul ICG. Cealaltă componentă principală o constituie proiectantul uman. ICG este o unealtă în mâinile proiectantului uman necesară rezolvării diverselor probleme de proiectare. Operatorul uman realizează porțiunea cea mai potrivită intelectului uman din cadrul procesului de proiectare, iar calculatorul prin ICG realizează sau aplică ceea ce i se potriveste cel mai bine, şi anume viteza de calcul, memorizarea unor largi bănci de date etc.

Ca motive principale pentru necesitatea implementării unui sistem CAD, se pot aminti următoarele:

- pentru mărirea productivității – acest lucru este realizat ajutând proiectantul să vizualizeze produsul şi părțile lui componente şi prin reducerea timpilor necesari sintetizării, analizării şi documentării procesului de proiectare;

- pentru îmbunătățirea calității unui proiect – un program CAD permite o analiză inginerească mai amănunțită asupra unui proiect şi mult mai multe alternative de proiectare pot fi investigate. Erorile de proiectare sunt de asemenea reduse datorită acurateții sistemului;

- pentru îmbunătățirea comunicării – aceste lucru este posibil datorită unei mai bune vizualizări, standardizări şi a unei mai bune documentări a procesului de proiectare.

- pentru crearea unei baze de date pentru producție – în timpul realizării proiectului, date ca dimensiunile produsului şi a componentelor acestuia, a materialelor necesare realizării acestuia, costul materialelor şi a termenelor de

livrare pot fi stocate într-o bază de date care poate fi utilizată ulterior în procesul de producție.

10.2.4.1. Procesul de proiectare

Într-o economie de piață, dezvoltarea şi apariția unui produs este în directă concordanță cu cererea de pe piață şi se materializează într-o idee sau concept. Această idee va fi punctul de plecare pentru apariția ulterioară a produsului. Ideea va fi preluată de proiectanți, care vor încerca să găseacă metode pentru transpunerea ideii în viață şi care vor stabili amănuntele necesare procesului de producție. În munca lor, aceştia vor fi ajutați de proiectanți analişti, care vor analiza impactul acestui produs asupra pieții, şi de ingineri, care vor realiza munca experimentală a prototipurilor pe standurile de test. Cercetătorii pot juca şi ei un rol important în acest proces pentru acoperirea unor goluri în înțelegerea comportării unor materiale, a unor procese implicate în producerea acestui produs. O dată procesul de proiectare terminat, munca va fi preluată de inginerii tehnologi, care vor identifica etapele şi operațiile necesare realizării produsului. Această descriere a procesului de producție şi proiectare este una foarte generală. La nivelul fiecarei etape pot interveni schimbări în funcție de complexitatea produsului, cât şi a multor altor factori externi (ca de exemplu, numărul de oameni implicați).

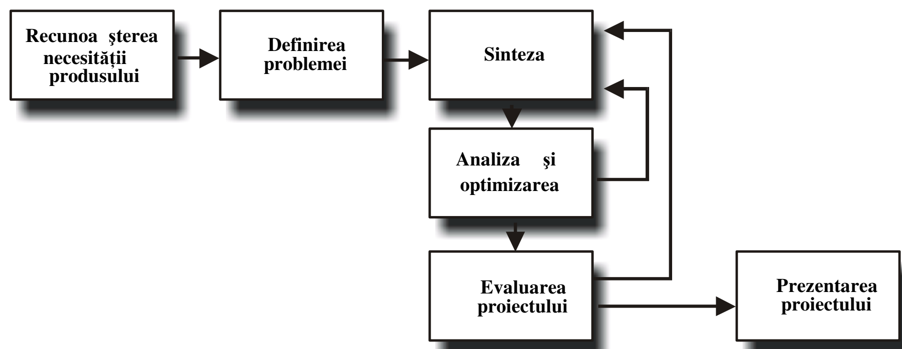


Fig. 10.6. Procesul de proiectare în viziunea lui Shigley.

În ultimul timp mai multe modele formale au fost realizate pentru descrierea procesului de proiectare. Având în vedere gama largă a situațiilor de proiectare, aceste modele descripționale prezintă variații mai mici sau mai mari, dar toate modelele sunt de acord că procesul de proiectare este un proces care se desfăşoară pas cu pas.

Unul din cele mai simple modele ale procesului de proiectare este cel prezentat de Shigley (fig. 10.6). Acesta vede procesul de proiectare ca unul iterativ

şi care cuprinde şase paşi sau etape: recunoşterea necesităţii unui nou produs, etapă implicată de cererea de pe piaţă; definirea problemei presupune stabilirea specificaţiilor de proiectare; sinteza, analiza şi optimizarea sunt etape strâns legate între ele şi care duc la îmbunătăţirea ideii sau conceptului prin reproiectarea produsului de câte ori este necesar; evaluarea presupune adesea realizarea unui prototip pentru a se vedea dacă acesta coincide cu specificaţiile iniţiale; şi în sfârşit prezentarea proiectului care presupune şi documentarea proiectului cu schiţe, desene şi specificaţii tehnice de materiale, lista de componente etc. În mod tradiţional, proiectarea inginerească se realizează pe planşe de desen, cu schiţele sub formă de desen tehnic cu toate specificaţiile necesare.

Un model al procesului de proiectare mai detaliat este propus de Pahl şi Beitz în 1984 (fig. 10.7). În acest model, procesul de proiectare este descris ca o diagramă ce cuprinde patru etape principale:

- înţelegerea procesului de proiectare, care presupune colectarea tuturor informaţiilor referitoare la cerinţele şi constrângerile de proiectare şi descrierea acestora;

- proiectarea conceptuală, care presupune identificarea funcţiilor ce trebuie incluse în proiect şi dezvoltarea unor soluţii corespunzătoare;

- proiectarea pe ansamblu, în care soluţia conceptuală este dezvoltată în detaliu;

- proiectarea în detaliu, care presupune specificarea tuturor detaliilor de proiectare cu toleranţe, materialele ce trebuie folosite, proprietăţile şi caracteristicile acestora etc.

Deşi teoretic, modelul Pahl şi Beitz reprezintă o secvenţă directă a procesului de proiectare, în practică, lucrurile stau puţin diferit, în sensul că iteraţii între etape pot apărea, iar rezultatele unor etape pot genera alte cicluri noi.

Un model mai rafinat al procesului de proiectare este propus de Ohsuga, în 1989 (fig. 10.8). În acest caz, diversele stagii sau etape ale proiectării sunt generalizate într-o formă comună, în care proiectul este realizat printr-un proces continuu de optimizare şi rafinare. În fazele incipiente ale proiectării, o soluţie este propusă de proiectant. Aceasta este evaluată din diverse puncte de vedere pentru a se stabili dacă modelul propus coincide cu specificaţiile tehnice. Dacă modelul este diferit de ceea ce se cere, atunci este modificat în concordanţă cu ce se cere. Procesul continuă până când toate specificaţiile sunt în concordanţă cu cerinţele.

Cele trei modele prezentate abordează o viziune tradiţională în care există mai multe etape în procesul de proiectare. Presiunea de a reduce costurile proiectării şi a timpilor mici de producţie necesari companiilor dintr-o economie de piaţă au dus la necesitatea folosirii unor metode noi de proiectare, ca de exemplu CAD.

Aplicând CAD la modelul prezentat de Shigley se obţine diagrama din figura 10.9. Diversele procese care sunt realizate de sistemele CAD pot fi grupate în patru mari grupe şi anume:

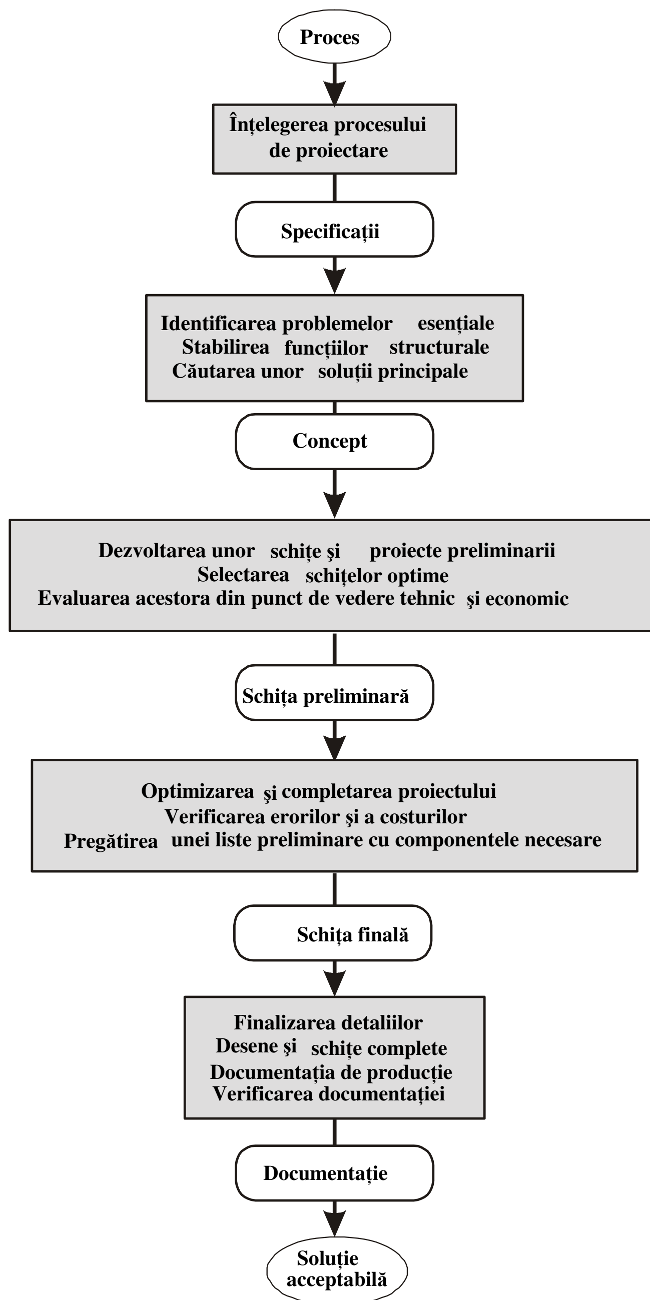


Fig. 10.7. Etapele procesului de proiectare, după Pahl şi Beitz (1984).

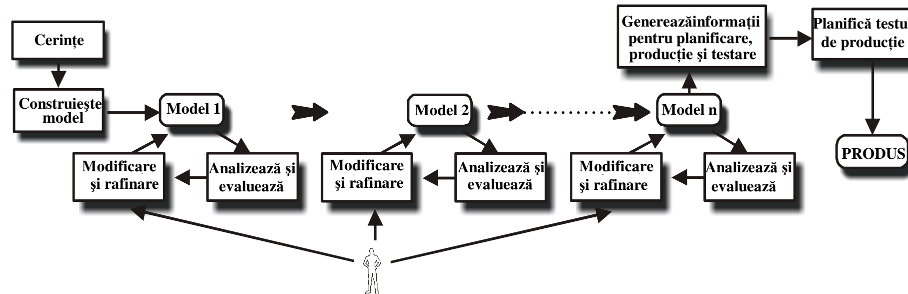


Fig. 10.8. Procesul de proiectare după Ohsuga (1989).

- modelarea geometrică
- analiza inginerească
- evaluarea şi modificarea proiectului
- schițarea automată.

Aceste patru grupe corespund fazelor finale ale modelului lui Shigley.

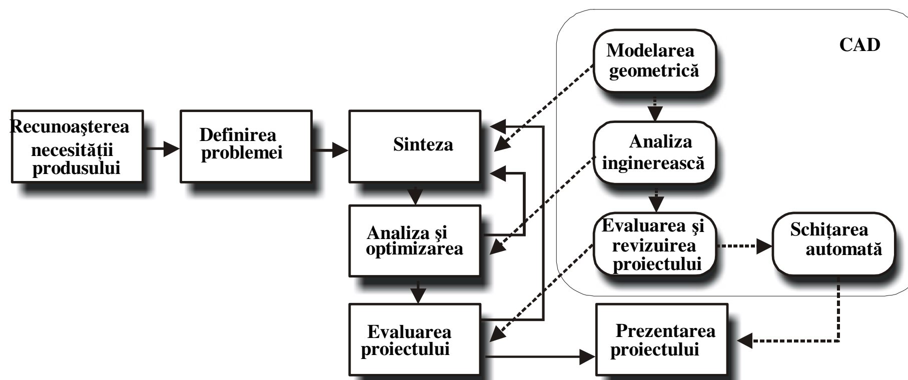


Fig. 10.9. Introducerea calculatorului în procesul de proiectare.

10.2.4.2. Arhitectura unui sistem CAD

Un sistem CAD conține următoarele elemente:

- *echipamentele fizice (hardware),* în care intră calculatorul şi echipamentele sale periferice;

- *pachetele de programe (software),* în care intră programele de calculator care rulează pe hardware-ul sistemului;

- *informația*, care cuprinde structurile de date create şi manipulate de pachetele de programe.

- *cunoştințele umane.*

Sistemul CAD este în general un sistem de programe complexe de

calculator rulate în anumite cazuri pe echipamente fizice specializate. Software-ul conține o serie de elemente sau funcții care procesează informațiile stocate într-o bază de date. O schemă generală a unui sistem CAD este reprezentată în figura 10.10. Aceasta include următoarele funcții:

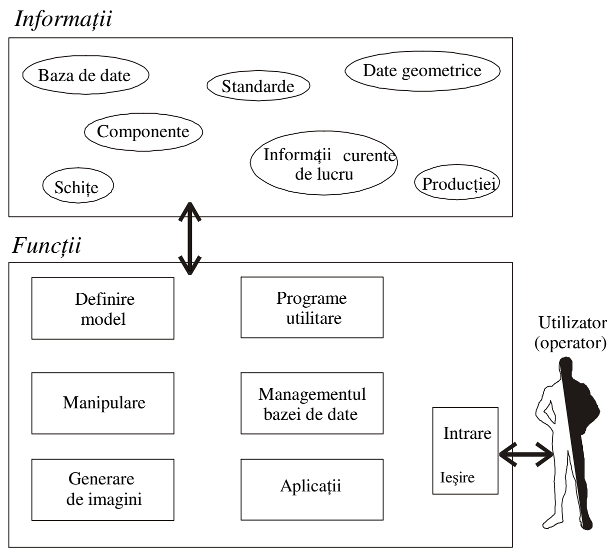


Fig. 10.10. Arhitectura unui sistem CAD.

- *definirea modelului* şi, de exemplu, adăugarea de elemente geometrice al unui model predefinit;

- *manipularea modelului*, care permite modificarea, ştergerea sau copierea unor elemente din modelul de proiectare;

- *generarea de imagini* (pentru generarea imaginilor corespunzătoare modelului proiectat pe ecranul calculatorului sau prin intermediul unui echipament periferic);

- *interacțiunea cu utilizatorul*, pentru manipularea comenzilor de intrare ale utilizatorului şi pentru prezentarea rezultatului acestora;

- *managementul bazei de date*, pentru întreținerea bazei de date de cunoştințe;

- *aplicații* (programe care nu modifică modelul proiectat, dar sunt folosite pentru generarea unor informații legate de evaluarea, analiza şi producția acestuia);

- *programe utilitare* (toate celelalte programe care nu modifică în nici un fel modelul proiectat, dar modifică operarea sistemului ca, de exemplu, selectarea unităților de măsură sau a culorilor cu care se va afişa modelul pe ecranul calculatorului).

10.2.4.3. Modelarea geometrică

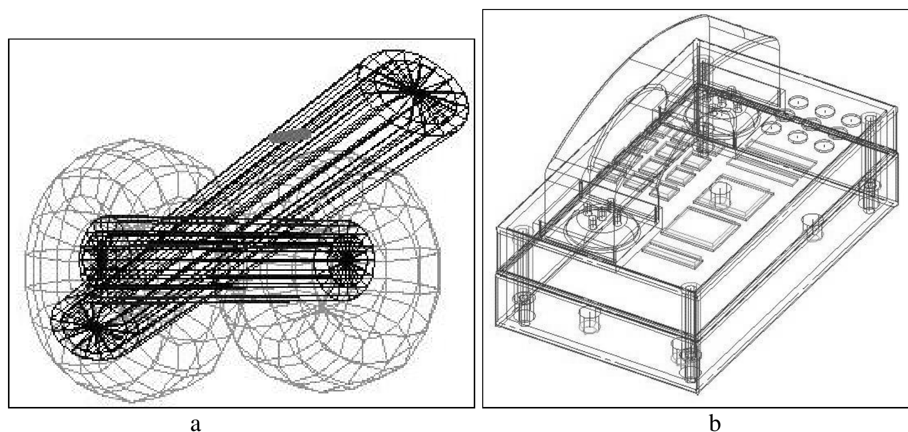
În CAD, modelarea geometrică este procesul de descriere matematică a geometriei unui obiect. Descrierea matematică asigură vizualizarea şi manipularea acelui obiect pe un terminal grafic prin semnale şi comenzi dintre unitatea centrală de prelucrare a sistemului CAD. Programele de calculator pentru modelare geometrică trebuie să fie proiectate în aşa fel încât să fie eficiente, atât din punct de vedere al calculatorului, cât şi din punct de vedere al proiectantului uman.

Pentru a putea folosi modelarea geometrică, proiectantul trebuie să construiască imaginea grafică a obiectului pe ecranul sistemului ICG prin introducerea a trei tipuri de comenzi de intrare şi anume:

- comenzi de bază, care generează elemente geometrice simple ca puncte, linii, cercuri etc.;
- comenzi pentru scalare, rotire sau alte transformări geometrice ale elementelor geometrice simple;
- comenzi pentru alipirea acestor elemente geometrice, în scopul generării formei dorite pentru obiectul de proiectat.

În timpul acestor tranformări geometrice, calculatorul converteşte comenzile utilizatorului într-un model matematic şi stochează aceste informații în fişiere de date. Modelul este afişat pe ecran şi poate fi reîncărcat din fişierele de date pentru eventuale corecții sau diferite analize inginereşti.

Există mai multe metode de reprezentare a unui obiect în modelarea geometrică. Cea mai simplă dintre acestea este geometria *wire-frame*. Cu această metodă, obiectele sunt reprezentate printr-o serie de linii şi curbe ce corespund marginilor sau secțiunilor prin obiect. Un exemplu de modelare geometrică *wire-frame* este prezentat în figura 10.11.



a b

Fig. 10.11. Modelarea *wire-frame*:
a - a unui tun; b – a unui telefon.

Există trei tipuri de reprezentare în modelarea *wire-frame* şi anume:

- modelarea 2D, care permite reprezentarea în două dimensiuni a obiectului ;

- modelarea $2^{1/2}$D, care permite reprezentarea unor obiecte tridimensionale dacă acestea nu prezintă pereți interiori ;

- modelarea 3D, care permite modelarea unui obiect complex în trei dimensiuni.

Cea mai avansată tehnică de modelare geometrică este modelarea solidelor (*solid modelling* - SM). Metoda *wire-frame* reprezintă obiectele doar parțial, forma solidă a acestora trebuind generată din modelul respectiv. Pentru multe aplicații inginereşti aceste reprezentări sunt suficiente. Având în vedere implementarea crescândă a calculatoarelor în inginerie şi în special în analiza inginerească sau pentru generarea automată a specificațiilor de producție, un model trebuie să fie reprezentat cât mai complet posibil. Technica de modelare a solidelor a fost dezvoltată tocmai cu acest scop. Aceasta presupune trecerea de la reprezentările convenționale cu linii şi curbe (2D) sau suprafețe ($2^{1/2}$D, 3D) la reprezentarea prin forme folosind solide tri-dimensionale.

Există două abordări ale SM şi anume:

- construcția prin blocuri (*Constructive solid geometry* CSG) – metodă ce permite utilizatorului folosirea unor primitive grafice ale unor modele solide (ca de exemplu paralelipipede, sfere, cuburi, cilindrii, piramide, etc.) care pot fi folosite la construirea modelului (fig. 10.12);

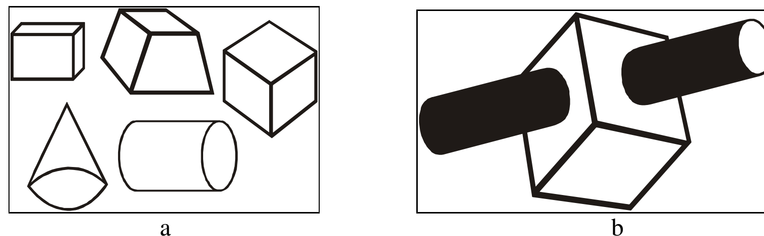


Fig. 10.12. Generarea unui model SM:
a - câteva primitive grafice ale unui sistemde modelare; b – un model SM utilizând doar cilindrul şi cubul ca primitive grafice.

- reprezentarea prin fețe (*Boundary representation*) care presupune că utilizatorul trebuie să deseneze mai multe vederi ale modelului, împreună cu liniile de interconectare între acestea (fig. 10.13 şi 10.14);

10.2.4.4. Analiza inginerească

În formularea fiecărui tip de proiect din inginerie este necesară o foarte complexă analiză. Analiza poate presupune analiza proprietăților materialelor, calculele pentru transfer de căldură sau folosirea ecuațiilor diferențiale, pentru a

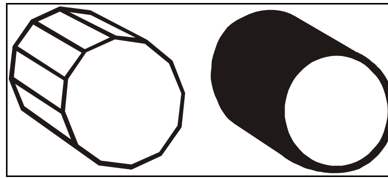
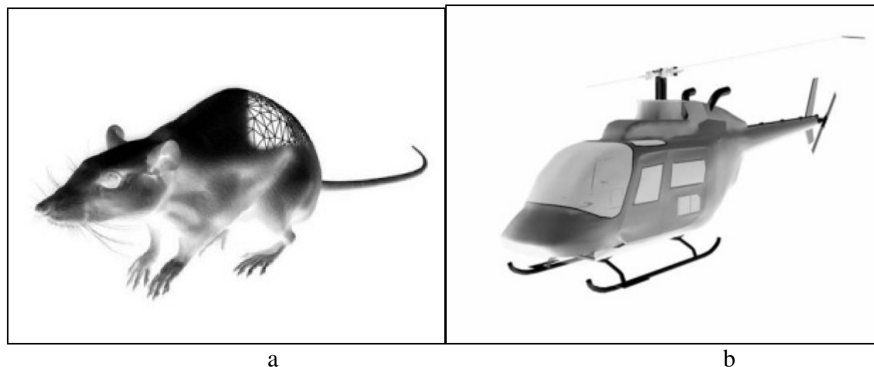


Fig. 10.13. Reprezentarea prin fețe a unui cilindru.



a b

Fig. 10.14. Exemple de modelare solidă:
a - a unui şobolan de laborator; b - a unui elicopter.

exprima comportamentul dinamic al sistemului sau al obiectului de proiectat. Calculatorul poate ajuta în aceasta muncă de analiză. Adeseori, programe specifice de calculator sunt dezvoltate chiar de grupul de analiză pentru a rezolva anumite probleme de proiectare. În alte situatii, sisteme comerciale pot fi folosite în acelaşi scop. De exemplu, analiza de masă a unui obiect presupune, în cadrul unui sistem CAD, specificarea proprietăților unui obiect solid, ca de exemplu, suprafața, greutatea, volumul, centrul de greutate şi momentul de inerție. Pentru o suprafață plană, calculele corespunzătoare includ perimetrul, aria şi proprietățile inerțiale.

Această analiză se poate face folosind *modelarea în element-finit.* Aceasta reprezintă poate cea mai puternică şi importanță proprietate a unui sistem CAD. Majoritatea problemelor în inginerie sunt nedeterminate din punct de vedere static, adică analiza statică a acestora nu permite colectarea de suficiente informații pentru comportamentul acestora. În metoda elementului finit, obiectul de analizat este împărțit într-un număr mare de elemente finite care formează o rețea de noduri interconectate unele cu celelalte. Folosind un calculator, întregului obiect îi poate fi analizată starea de tensiuni, transferul de căldură, vibrațiile sau alte caracteristici prin observarea comportamentului fiecărui nod din rețea. Prin determinarea relațiilor de comportament în diferitele noduri, se poate ajunge la comportamentul întregului obiect. Suficiente informații pot fi obținute prin combinarea următoarelor:

- echlilibrul static pentru fiecare nod;
- mişcarea geometrică a fiecărui nod;
- analiza specifică a fiecărui nod;

Selecţia tipului de element (nodurilor) şi poziţia acestora este importanţă. Unele sisteme CAD au capacitatea de a defini automat nodurile şi structura retelei pentru un obiect dat. Operatorul uman trebuie doar să specifice parametrii pentru modelul de element-finit şi sistemul CAD calculează comportamentul automat.

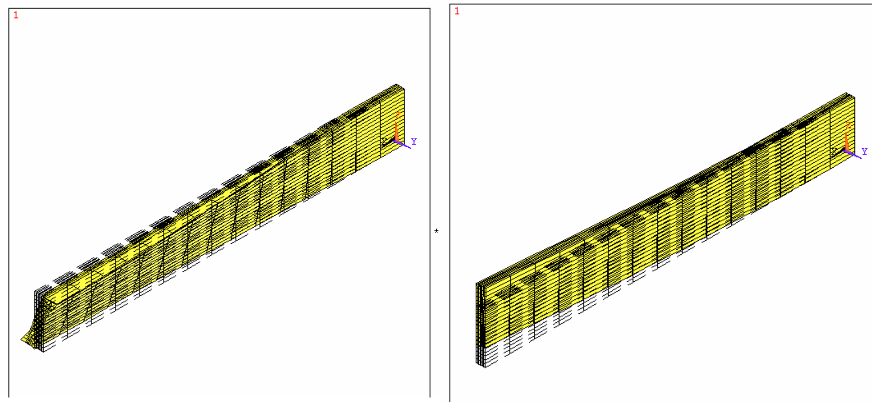


Fig. 10.15. Moduri de vibraţie ale unei lamele piezoceramice (modele realizate cu ANSYS 5.0).

Ieşirea analizei în element-finit este de obicei cel mai bine reprezentată de sistemul CAD într-un format grafic pe un terminal. De exemplu, modul de vibraţie al unei bare piezoceramice este suprapus peste imaginea originală a barei, ca în figura 10.15. Grafica color este folosită de asemenea pentru accentuarea comparaţiei între obiectul original şi cel în vibraţie.

10.2.4.5. Evaluarea şi modificarea proiectului

Verificarea acurateţii unui proiect sau schiţe se poate face în mod simplu pe un terminal grafic. Rutinele de autodimensionare şi toleranţe care atribuie dimensiuni suprafeţelor sau muchiilor de prelucrat indicate de operator ajută la minimizarea erorilor. Sistemele CAD permit chiar *mărirea* unor zone parţiale ale desenului (*zoomare*) pentru o observare mai atentă a detaliilor şi pentru o eventuală corectare a greşelilor. O altă tehnică importantă introdusă de sistemele CAD este *stratificarea* (*layering*). Aceasta înseamnă, de exemplu, suprapunerea schiţei geometrice a unei piese finite cu forma semifabricatului turnat, în acest fel putându-se observa dacă adaosurile de prelucrare sunt suficiente pentru a acoperi dimensiunile piesei finite care să îndeplinească toate condiţiile tehnice cerute. Pentru verificarea interferenţei unor componente în comportarea globală a unui obiect se foloseşte tehnica *analizei dinamice*. Sistemele CAD permit simularea

mişcării unor mecanisme simple, ca de exemplu mecanisme de tip bielă-manivelă, scripeţi, lagăre, rulmenţi sau simplele gâturi între componente, şi ajută la verificarea interferenţei dintre acestea.

10.2.4.6. Schiţarea automată

Schiţarea automată presupune crearea unor desene inginereşti direct din baza de date a sistemului CAD. În trecut, singura justificare pentru CAD era aceasta, şi anume că prin acest proces de schiţare automată a proiectelor, productivitatea muncii creşte de cinci ori faţă de schiţarea manuală. Din proprietăţile importante ale acestui proces, se pot aminti dimensionarea automată a obiectului, definirea suprafeţelor de intersecţie, abilitatea de a genera diverse vederi ale obiectului, cât şi posibilitatea de a roti obiectul cu un numar de grade, specificat de operatorul uman.

Majoritatea sistemelor CAD pot genera automat şase vederi ale aceluiaşi obiect. De asemenea, programând standardele unui anumit client/companie, sistemul CAD are grijă de respectarea automată a acestora la realizarea desenelor sau schiţelor.

10.2.4.7. Clasificarea componentelor şi codarea acestora

O altă proprietate importanţă a unui sistem CAD este aceea că poate stoca diverse componente de acelaşi tip creând astfel clase de obiecte. Apoi sunt generate automat coduri pentru acestea, iar utilizatorul uman nu are altceva de făcut decât să selecteze din librăria existentă a sistemului CAD părţile componente de care are nevoie.

10.2.4.8. Crearea unei baze de date pentru producţie

Un alt important avantaj al folosirii sistemelor CAD este acela al realizării unor baze de date necesare producţiei unui produs. În ciclul de producţie tradiţional există o separaţie a proiectării şi producţiei, în sensul că proiectarea era realizată de o grupă de ingineri, iar rezultatul muncii acestora, schiţele produsului, erau preluate de inginerii de producţie.

Aceasta presupunea un proces în două etape, care era atât consumator de timp, cât şi de resurse umane. Într-un sistem integrat CAD/CAM, se realizează o legătură directă între proiectare şi producţie. Unul din scopurile CAD/CAM este acela de a automatiza atât unele faze de proiectare şi producţie, dar şi acela de a automatiza tranziţia dintre cele două etape. Astfel a apărut conceptul de *bază de date de producţie.* Aceasta include toate datele referitoare la produsul generat în timpul proiectării (modele geometrice, costuri de materiale, specificaţii de materiale etc.), ca şi date adiţionale necesare producţiei, aşa cum se poate observa în figura 10.16.

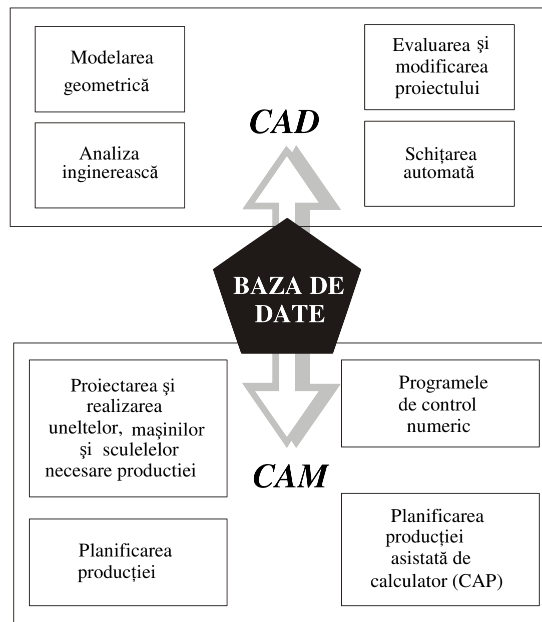


Fig. 10.16. Relaţia între baza de date şi CAD/CAM.

10.2.4.9. Avantaje ale folosirii CAD/CAM

Există foarte multe avantaje ale folosirii CAD/CAM, dintre care doar câteva pot fi măsurate cu uşurinţă. Unele avantaje sunt indirect măsurabile, ele reflectându-se doar în îmbunătăţirea muncii, altele sunt direct măsurabile, ca de exemplu, creşterea productivităţii muncii de un factor K, scăderea costurilor de proiectare cu o anumită sumă etc. Câteva dintre avantaje sunt prezentate în continuare:

- îmbunătăţirea productivităţii;
- scurtarea timpilor de producţie şi de proiectare;
- reducerea personalului uman;
- modificările specifice pentru diverşi clienţi sunt uşor de făcut;
- cotarea şi dimensionarea automată a produsului;
- acurateţea îmbunătăţită a desenelor;
- ajutorul important în realizarea documentaţiilor;
- standardizarea schiţelor;
- proiectarea mai bună;
- estimarea costurilor mai rapidă şi mai precisă;
- timpul mai redus pentru simulări;
- o mai bună comunicare între ingineri, proiectanti, manageri şi alţi membri ai echipelor de producţie;

- mai puține erori de proiectare;
- o mai mare acuratete în realizarea calculelor de proiectare.

O succintă prezentare a acestor avantaje se face mai jos.

Îmbunătățirea productivității în proiectare

Productivitatea crescută a unei companii va duce la creşterea prestigiului acesteia din cauza reducerii de personal necesar unui anumit proiect şi, implicit, obținerii unor costuri şi timpi mici. Groover semnalează faptul că într-un sondaj al unor producători de sisteme CAD, productivitatea poate fi mărită cu un factor de 3/1, până la cazuri în care este mărită cu 10/1 şi chiar mai mult. Există chiar cazuri când productivitatea a fost mărită de 100 de ori, dar această cifră nu este un standard. Acest factor depinde de complexitatea schițelor inginereşti, de nivelul de detalii cerut, de gradul de repetiție şi simetrie al componentelor implicate, cât şi de capacitatea bazelor de date CAD/CAM folosite. Pe măsură ce toți aceşti factori cresc, productivitatea tinde să crească la rândul său.

Scurtarea timpilor de proiectare şi producție

Sistemele interactive de CAD sunt în mod evident mult mai rapide decât procesul tradițional de proiectare. De asemenea, timpii de pregătire a unor rapoarte preliminarii şi liste (de componente, de exemplu), care în mod normal sunt întocmite manual, sunt scurtați foarte mult. Având în vedere toate acestea, folosind un sistem CAD, se poate ajunge la un timp relativ scurt de realizare a unui proiect.

Analiza automată a proiectării

Rutinele de analiză a proiectării dintr-un sistem CAD permit ca procesul de proiectare să devină unul logic. Decât să existe o legatură între o echipă de proiectare şi una de analiză, aceeaşi persoană, folosind un terminal CAD, poate să realizeze şi proiectarea, şi analiza. Aceasta ajută nu numai la economia de resurse umane, cât şi la realizarea unui timp real mai mic. În cazul tradițional, după fiecare modificare făcută asupra unui proiect, acesta era trimis din nou la analişti care apoi comunicau rezultatele înapoi proiectantului. Aceasta nu înseamnă că analiştii de proiect sunt o categorie pe cale de dispariție. Este vorba numai de modificările minore sau mai puțin minore în stadiile preliminare ale proiectului. În acest caz, mai multe alternative de proiectare pot fi explorate pentru a se vedea care se pretează mai bine cerințele clientului.

Mai puține erori de proiectare

Sistemele CAD interactive posedă o proprietate intrinsecă de a evita erorile de proiectare, de schițare şi de documentare. De exemplu, pentru estimarea costurilor, erorile de tastatură (de intrare), care apar în mod natural în timpul estimării manuale, sunt practic eliminate. De asemenea alte erori pot fi corectate în cazul în care sistemul întreabă în mod interactiv utilizatorul de acuratețea anumitor date care par problematice sau eronate. Toleranța sistemului, care poate fi introdusă de operatorul uman, joacă de asemenea un rol important în evitarea erorilor.

O mai mare acuratețe în calculele de proiectare

În cazul calculelor manuale, o precizie mai mare de 14 zecimale semnifi-

cative este practic imposibil de realizat, din cauza timpilor mari de calcul pe care îi implică un asemenea proces. În cazul sistemelor CAD, nici nu se poate compara precizia calculatoarelor cu cea manuală.

Standardizarea proiectării

O singură bază de date şi un singur sistem de operare este comun la toate terminalele şi staţiile de lucru dintr-un sistem CAD. Ca urmare, sistemul conduce în mod natural la standarde pentru proiectare şi desenare. Cu sistemele interactive CAD, desenele sau schiţele sunt standardizate pe măsură ce sunt desenate, din cauză că întregul format este prezent în nucleul acestora.

Proceduri îmbunătăţite pentru schimbări inginereşti

Controlul şi implementarea schimbărilor într-un proiect existent este imbunătăţitată în mod substanţial în sistemele CAD. Desenele şi schiţele originale sunt stocate în baza de date a proiectului, şi aceasta le face foarte uşor accesibile pentru modificări. De asemenea, o listă a schimbărilor ce se efectuează asupra acestora se poate stoca în memoria calculatorului, şi în caz de nevoie se poate reveni asupra modificărilor.

Avantaje ale procesului de producţie

Avantajele CAD au implicaţii importante şi în procesul de producţie. Aşa cum s-a mai menţionat, aceeaşi bază de date CAD/CAM este folosită şi pentru planificarea producţiei şi pentru controlul acesteia.

Câteva avantaje ale folosirii CAD în procesul de producţie sunt:

- controlul numeric al proceselor (CN);
- planificare asistată de calculator;
- liste de componente (de asamblare) generate de sistemul CAD;
- controlul asistat de calculator;
- controlul şi planificarea roboţilor;

Câteva dintre aceste avantaje ale CAD în procesul de producţie vor fi analizate mai în detaliu în subcapitolele următoare.

10.2.4.10. Echipamente fizice în sistemele CAD

Echipamentele fizice ale unui sistem CAD (hardware-ul) sunt disponibile într-o gamă foarte largă de tipuri, mărimi, configuraţii şi capabilităţi. De aceea este posibilă alegerea exactă a echipamentului de care are nevoie o anumită companie. De exemplu, firmele de inginerie care nu se implică în producţie, se pot axa doar pe un sistem de proiectare, desenare sau schiţare. Firmele de producţie pot alege sisteme CAD/CAM complete, atât pentru schitare/desenare, cât şi pentru planificarea producţiei, a termenelor de livrare, a controlului calităţii etc.

Aşa cum s-a mai menţionat anterior, resursele hardware de care dispune un sistem CAD sunt una sau mai multe staţii de proiectare CAD. La rândul ei, o staţie de proiectare CAD conţine terminale grafice, dispozitive de intrare, plottere sau alte dispozitive de ieşire şi unitatea centrală de prelucrare (UCP), aşa cum se poate observa în figura 10.17.

O stație de lucru CAD este interfața sistemului cu lumea exterioară. Ea reprezintă un factor important pentru a determina cât de facil şi eficient este pentru un proiectant să folosească respectivul sistem CAD. După Foley şi al., 1982, stația de proiectare trebuie să îndeplinească cinci funcții:

- trebuie să comunice cu UCP;
- trebuie să genereze o imagine grafică stabilă pentru operatorul uman;
- trebuie să genereze descrierea digitală a imaginii grafice;

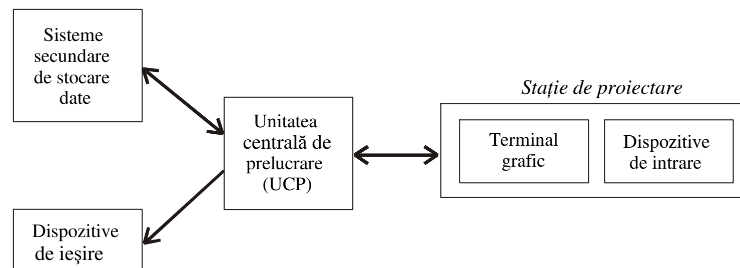


Fig. 10.17. Configurația tipică a unui sistem CAD.

- trebuie să traducă comenzile calculatorului în funcții de operare;
- trebuie să faciliteze procesul de comunicare dintre operatorul uman şi sistemul CAD.

În general, o stație de proiectare CAD este formată dintr-un terminal grafic şi unul sau mai multe dispozitive de intrare (tastatura, planşeta electronică de desen etc.).

Terminalul grafic. Există numeroase soluții tehnice care au fost implementate pentru dezvoltarea terminalelor grafice. Tehnologia continuă să se perfecționeze rapid, producătorii de sisteme CAD încercând să-şi îmbunătățească produsele şi să reducă costurile.

Actualmente, există trei tipuri importante de terminale grafice:

- *directed-beam-refresh*, care este cel mai vechi tip de terminal grafic al tehnologiilor moderne. Din cauză că ecranul este format din elemente fosforescente, care sunt capabile să rețină luminozitatea pentru scurte perioade de timp, imaginea trebuie să fie generată de mai multe ori pe secundă (*refresh*), pentru ca ochiul uman să nu observe oscilația acesteia pe ecran;

- *direct-view storage tube* (DVST) – spre deosebire de primul tip de terminal grafic, DSTV are capacitatea de a reține imaginea, fără a mai fi nevoie de regenerarea acesteia. Acest lucru este posibil datorită folosirii unui tun electronic, care, direcționat către stratul de fosfor al ecranului, menține luminozitatea acestuia;

- *TV digital* (raster scan) – aceste tipuri de terminale funcționează prin emiterea unui fascicul de electroni care traversează ecranul în zig-zag.

Foarte important într-un sistem CAD este posibilitatea acestuia de a afişa imaginile folosind culori sau posibilitățile de animație ale acestora. Aceste

capabilități sunt dependente de echipamentele fizice folosite şi în special de terminalul grafic folosit. Din anii 1980 s-au făcut progrese remarcabile în acest domeniu. În prezent, cea mai folosită technologie de afişare color a imaginilor foloseşte trei tunuri electronice pentru a genera culorile roşu, verde şi albastru pe un ecran cu fosfor. Prin combinarea intensităților acestor culori principale, o multitudine de culori pot fi generate. În prezent, există terminale grafice cu rezoluții de peste 1 600×1 200 pixeli cu tonuri de culoare ce pot fi reprezentate pe 128 biți (ceea ce înseamnă că pot fi reprezentate 2^{128} tonuri de culoare).

Dispozitive de intrare. Acestea sunt prezente în stația de lucru CAD pentru a facilita comunicarea dintre operatorul uman şi sistem. O stație de lucru dispune în general de mai multe astfel de dispozitive, permițând astfel operatorului uman alegerea celui mai potrivit dispozitiv pentru efectuarea proiectării. Aceste dispozitive de intrare pot fi clasificate în trei categorii:

- *dispozitive de control a cursorului pe ecran*, care permit utilizatorului să controleze cursorul pe ecran (cursor = de obicei un punct luminos pe ecran care indică unde se face desenarea). Există o foarte mare varietate de dispozitive de intrare pentru controlul cursorului, ca, joysticks, mouse, track ball, creion optic, creion electronic etc.;
- *digitizoare*, care permit transferarea desenelor de pe hârtie în memoria digitală a calculatorului (acest proces se numeşte digitizare). Este un simplu transfer de coordonate de pe hârtie (x,y) în coordonate ecran;
- *tastaturi* sau alte *dispozitive alfanumerice*, care sunt folosite pentru a introduce comenzi, funcții şi date suplimentare către sistemul CAD.

Plottere sau alte dispozitive de ieşire. Există o mare varietate de dispozitive de ieşire folosite în conjuncție cu un sistem CAD. Dintre acestea trebuie menționate *plotterele* care pot produce schițe de o mare acuratețe şi calitate, *imprimantele*, care cu tehnologia actuală asigură o calitate ridicată a imaginii tipărite etc.

Unitatea centrală de prelucrare (UCP). Aceasta reprezintă „creierul" întregului sistem CAD. În general este un minicalculator care execută calculele necesare procesării grafice şi alte funcții de direcționare şi control a activităților ce au loc în sistem.

Memoria secundară. În general, un sistem CAD, pe lângă memoria principală, posedă şi o memorie secundară, de obicei sub forma unui disc sau bandă magnetică. Scopul acestei memorii secundare este de a reduce folosirea memoriei principale. De exemplu, memoria secundară poate fi folosită la stocarea fişierelor cu programele CAD, programe care pot fi transferate către memoria principală în caz de nevoie.

10.2.4.11. Programele de grafică pentru un sistem CAD (software-ul CAD)

Echipamentele fizice menționate anterior ar fi total inutile fără nişte programe de calculator pentru folosirea lor şi anume software-ul de grafică.

Software-ul de grafică este o colecție de programe concepute pentru a facilita folosirea sistemului grafic de către un operator uman. Tipul de programe de grafică implementate pe un anumit sistem CAD depinde în mare masură de echipamentele fizice de care dispune acesta. Spre exemplu, programul necesar afişării unei imagini pe un terminal grafic DSTV este total diferit de cel conceput pentru un terminal digital TV, cu toate că aceste operații sunt transparente față de utilizator.

Newman şi Sproull au definit şase reguli de bază care trebuie să fie luate în considerare la proiectarea unui software de grafică şi anume:

- *simplu*– software-ul trebuie să fie simplu de folosit;
- *consistent* – software-ul trebuie să poată fi folosit într-o manieră consistentă şi predictibilă pentru operatorul uman;
- *complet* – software-ul trebuie să nu prezinte omisiuni în ceea ce priveşte funcțiile grafice pe care le posedă;
- *robust* – sistemul grafic trebuie să fie tolerant la erori mici;
- *performant* – sistemele grafice trebuie să lucreze rapid şi la un nivel calitativ înalt;
- *economic* – programele de grafică nu trebuie să fie de mărime mare sau să aibe cost ridicat;

În timpul operării unui sistem grafic, un operator uman efectuează o varietate de operații ce pot fi clasificate în trei categorii:

- interacțiuni cu terminalul grafic cu scopul de a crea şi modifica imagini pe ecran;
- construirea pe ecran al unui model pentru obiectul fizic considerat;
- stocarea acestui model în memoria calculatorului.

Operatorul uman nu efectuează aceste trei tipuri de operații secvențial, ci mai degrabă realizează combinații între acestea. Motivul pentru care aceste operații au fost separate în acest mod este pentru că ele corespund unei configurații generale a unui sistem de grafică interactiv. Astfel, programele de grafică pot fi impărțite în trei module:

- pachetul de grafică;
- programele de aplicații;
- baza de date a aplicațiilor.

Aşa cum se poate vedea din figura 10.18, un rol important îl poartă programele de aplicație. Acestea sunt responsabile pentru citirea de date în şi din baza de date a sistemului. Aceste programe de aplicații sunt controlate de operatorul uman prin intermediul pachetului de grafică.

Programele de aplicații sunt folosite de operatorul uman pentru a construi modelul unei entități fizice a cărei imagine trebuie să fie văzută pe ecranul terminalului grafic. Aceste aplicații sunt scrise pentru diverse domenii, cum ar fi arhitectura, construcțiile, ingineria mecanică, ingineria chimică şi ingineria aeronautică etc., şi folosesc convenții care sunt specifice acestor ramuri industriale.

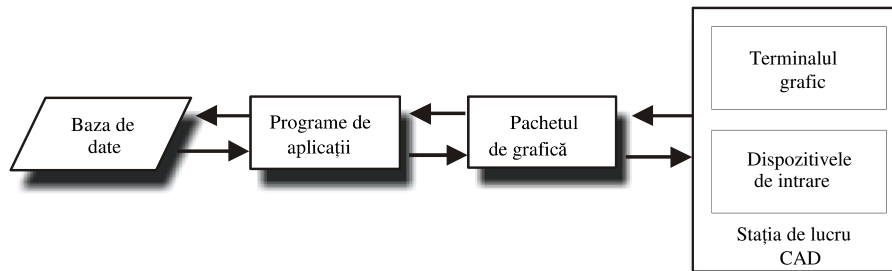


Fig. 10.18. Structura generală a unui software de grafică.

Pachetul de grafică este programul de calculator care asigură comunicarea dintre operatorul uman şi terminalul grafic. Acesta reprezintă totodată şi legătura dintre aplicațiile de program şi operatorul uman şi conține funcții de intrare şi funcții de ieşire. Funcțiile de intrare aceeptă comenzi şi date de intrare de la operatorul uman. Funcțiile de ieşire comandă şi controlează vizualizarea imaginilor pe terminalul grafic. Cel de-al treilea modul, baza de date, conține modele matematice, numerice şi logice predifinite, ca de exemplu circuite electronice, componente mecanice, părți de automobil şi aşa mai departe. Baza de date a sistemului poate conține de asemenea şi informație alfanumerică asociată cu modelele respective, ca de exemplu costurile şi proprietățile materialelor, etc.

• *Funcțiile unui pachet de grafică.* Un pachet de grafică, pentru a-şi îndeplini rolul într-un sistem grafic, trebuie să realizeze o varietate de funcții diferite. Aceste funcții pot fi grupate în mai multe seturi şi fiecare set trebuie să îndeplinească un anumit tip de interacție între operatorul uman şi sistem. Cele mai comune seturi de funcții sunt:

- *generarea de elemente grafice* – un element grafic este o entitate de bază a unei imagini (de exemplu punctul, segmentul de dreapta, cercul, etc. sau în cazul graficii tridimensionale sfera, cubul sau cilindrul). Acestea se mai numesc şi primitive grafice.

- *transformări* – transformările sunt folosite pentru a schimba imaginea pe ecranul terminalului grafic. Acestea sunt aplicate primitivelor grafice pentru a asista şi ajuta operatorul uman în construirea modelului grafic. Se poate menționa schimbarea dimensiunilor unei primitive (scalare), translația , rotirea imaginilor etc.

- *funcții de segmentare* – acestea permit operatorului uman să selecteze anumite părți de imagine şi să aplice transformări numai asupra acestora.

- *funcții de control al vizualizarii imaginii* – acestea permit operatorului să vizualizeze imaginea din unghiul şi la scara dorită.

- *funcții de intrare* – acestea permit operatorului să introducă comenzi şi date către sistem. Aceste funcții sunt în directă legatură cu dispozitivele de intrare

existente în sistem şi trebuie să fie scrise în aşa fel încât să faciliteze folosirea acestora de către operator.

• *Alte proprietăţi ale sistemelor de grafică CAD.* Multe dintre sistemele CAD din prezent oferă abilităţi extinse pentru dezvoltarea de desene inginereşti. Aceste abilităţi includ:

- haşurarea automată a suprafeţelor;
- posibilitatea de a scrie text în desen;
- cotarea automată sau semiautomată;
- generarea automată a costurilor materialelor brute necesare pentru producţia obiectului sau modelului din schiţa/desen.

Toate aceste posibilităţi ajută la reducerea timpilor necesari terminării procesului de desenare şi schiţare.

10.2.4.12. Exemple de folosire CAD

Folosirea sistemelor de proiectare CAD/CAM reprezintă la ora actuală nu un obiectiv cum se întâmpla acum câţiva ani, ci o necesitate obiectivă venită în întâmpinarea noilor cerinţe de realizare a unor produse cu calităţi deosebite, a implementării unor tehnologii deosebit de productive, atât de necesare în implementarea noilor concepţii economice de piaţă şi în integrarea economică mondială a cărei perspectivă este aproape certă. Pentru înţelegera noţiunilor de CAD/CAM trebuie avute în vedere o serie de pachete de software ce asigură realizarea, urmărirea şi optimizarea unui produs din faza de concepţie a acestuia, trecând prin faza de producţie, până în faza de control. Orice sistem de proiectare şi producţie asistată de calculator este un sistem flexibil ce înglobează o sumă de programe dintre care pot fi folosite unele sau altele în funcţie de cerinţele concrete ale fiecărui producător şi de opţiunile proiectantului de sistem.

Ţinând cont de aceste elemente trebuie remarcată folosirea încă în etapa de proiectare a unor programe de desenare, ce evoluează permanent, şi care au început să-şi depasească titulatura prin îmbunătăţiri ce extind aria de folosire şi către alte atribuţii. Dintre aceste software-uri se remarcă folosirea celor intitulate ACAD sau ProEng. Aceste programe realizează desene în 2D, 3D sau corpuri solide înzestrate cu anumite proprietăţi. Produsul finit al acestor programe poate fi folosit ca atare sau poate fi element de intrare pentru alte programe specializate, cum ar fi cele folosite pe maşinile-unelte pentru producerea fizică a pieselor sau pentru programe de simulare pe calculator a comportării în anumite condiţii cerute. Din rândul acestor programe se pot remarca: ANSYS, NASTRAN sau COSMOS, programe ce folosesc teoria elementui finit şi care sunt foarte folosite la ora actuală.

Ca primă etapă în folosirea sistemelor CAD/CAM este realizarea desenului piesei, a desenului de subansamblu sau a celui de ansamblu. Pentru realizarea acestui desen nu se poate impune o metodologie clară de lucru, aceasta rămânând la latitudinea fiecărui proiectant în parte. Totuşi se pot remarca câteva etape ce sunt

necesare a fi parcurse şi care pot ajuta la realizarea unui desen corect şi în timp minim. În figura 10.19 se prezintă desenul unui corp de pompă ce se poate încadra în clasa corpurilor complexe. Etapele sugerate a se parcurge în eleborarea unui astfel de desen ar putea fi:

- definirea limitelor spaţiului de lucru şi anume a formatului sub care se face reprezentarea. Astfel, în general se folosesc formate A4 sau A3, însă ca avantaj a acestui program este adaptarea acestuia la orice cerinţă. Pentru aceasta se foloseşte comanda „Limits" în care se introduc cordonatele colţului din stânga jos şi a celui din dreapta sus.

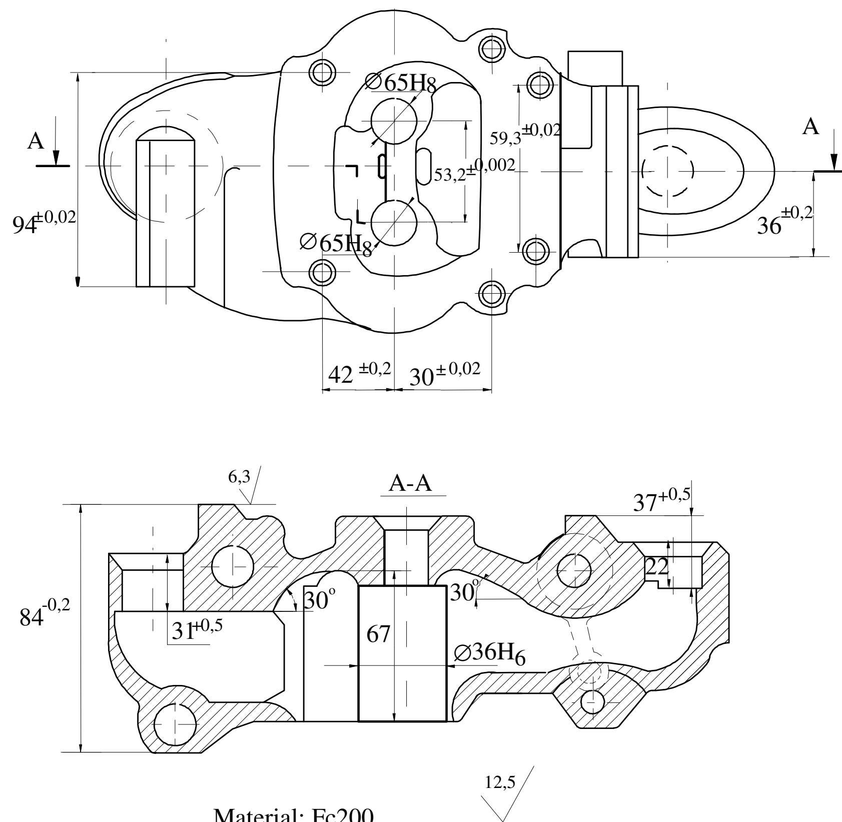


Fig. 10.19. Corp de pompă.

- a doua etapă este cea de vizualizare a acestui spaţiu folosind pentru aceasta o reţea de puncte fine numită „Grid''. Pentru programul ACAD 2000 distanţa implicată dintre acestea este de 10 mm dar se poate alege orice altă valoare.

- în a treia etapă, în funcție de caracteristicile desenului se pot activa sau, la fel de uşor, se pot dezactiva, în funcție de necesități, comenzile ,,Ortho'' sau ,,Snap" prin care cursorul de pe ecran se va deplasa numai pe direcții ortogonale sau, respectiv, numai în puncte discrete situate la distanțe ce pot fi alese inițial de desenator. Aceste comenzi sunt foarte utile şi ajută la reducera timpului de lucru.

- după stabilirea acestor ,,unelte de lucru'' în funcție de caracteristicile desenului şi de modul de lucru al proiectantului se poate trece la desenarea efectivă. În mod normal, dacă desenul are axe de simetrie se începe prin reprezentarea acestora. Pentru aceasta se va folosi un gen de linie-punct ce se alege din lista de tipuri de linii oferite de program. Comanda pentru trasarea liniei se face cu optiunea ,,Line''. În cadrul piesei prezentate se observă existența axelor de simetrie ce vor fi trasate în primul rând;

- în această etapă se va trece la realizarea efectivă a desenului folosind tipul de linie necesar, în general linia continuă. De remarcat este opțiunea pentru stabilirea grosimii de linie mai ales în cazul în care desenul prezintă haşuri a căror grosime de linie este mai mică decât a limiilor de contur. Această opțiune se stabileşte cu ajutorul comenzii ,,Pline". În cazul în care se doreşte modificarea grosimii de linie folosită anterior se foloseste comanda ,,Pedit''. Pentru piesa prezentată grosimea liniilor de contur se poate alege 0,3. Pentru realizarea liniilor drepte se foloseşte comanda ,,Line'', pentru cercuri ,,Circle'', pentru arcuri de cerc ,,Arc'', ş.a.m.d. Pentru realizarea zonelor haşurate este recomandabil, pe cât este posibil, executarea întâi a acestora şi cu o altă linie. În orice caz aceste suprafete trebuie să fie delimitate de linii închise, ce se intersectează, pentru a se uşura mai apoi realizarea haşurii.

- în situația în care piesa are una sau mai multe simetrii se va urmări realizarea numai a unei jumatăți, iar după aceea folosind comanda ,,Mirror'', automat, programul va trasa şi cealaltă jumătate.

- deoarece desenul prezentat prezintă mai multe entități ce se repetă (cercuri) folosind comanda ,,Copy'' se vor realiza mai multe copii ale acestora ce se vor poziționa foarte repede în punctele dorite.

- după realizarea tuturor liniilor de contur, folosind pentru aceasta un meniu foarte bogat oferit de program, se trece la realizarea haşurilor. Pentru aceasta se foloseşte comanda ,,Hatch''. Prin activarea acestei comenzi programul oferă o serie de opțiuni, precum:

- ,,Pattern'' pentru stabilirea tipului haşurii;
- ,,Angle'' pentru stabilirea unghiului sub care se realizează aceasta față de poziția inițială;
- ,,Scale'' pentru stabilirea ,,densității" de linii față de o valoare prestabilită.

Pentru selectarea suprafeței ce va fi haşurată se definesc două metode:

- ,,Pick Points'' în care se alege un punct în interiorul suprafeței şi de aceea este bine că aceasta să fie delimitată de linii ce se intersectează, în caz contrar

comanda nerealizându-se.

- ,,Select Objects'' prin care se selectează fiecare entitate ce defineşte suprafaţa ce trebuie haşurată. În cazul în care acestea nu se intersectează haşura nu se va executa corect;

- după executarea haşurii se va trece la realizarea cotării desenului. Pentru aceasta Programul ACAD 2000 uşurează foarte mult munca desenatorului realizând cotarea foarte uşor, doar prin indicarea, de exemplu, a capetelor unei linii. Pentru cotare se foloseşte comanda ,,Dimension'' cu opţiuni pentru cote liniare, unghiulare, radiale ş.a.m.d. Faţă de versiunile anterioare ale programului această comandă a suferit multe îmbunătăţiri fiind acum foarte uşor de folosit.

Urmărind astfel doar câteva din etapele sau noţiunile folosite în realizarea unui desen cu ajutorul programului AUTOCAD se pot uşor observa facilităţile oferite şi posibilitatea realizării unui desen corect într-un timp foarte scurt.

10.2.5. Producţia asistată de calculator - CAM

10.2.5.1. Controlul Numeric (CN) - începuturile CAM

Multe din realizările CAD/CAM-ului îşi au originea în controlul numeric (CN).

Acesta poate fi definit ca o formă de automatizare programabilă în care un anumit proces este controlat de numere, litere şi simboluri. În CN numerele formează un program de instrucţiuni realizat pentru un anumit proces. Când procesul se schimbă, programul se schimbă la rândul său. Acesta este marele avantaj al controlului numeric – *flexibilitatea.* Este mult mai usor să schimbi nişte numere şi simboluri într-un program, decât să schimbi echipamentul şi linia de producţie. Controlul numeric a fost folosit cu succes într-o gamă largă de aplicaţii, începând cu desenul tehnic, asamblarea, inspecţia, şi până la sudarea în puncte. Însă, majoritatea aplicaţiilor controlului numeric sunt în domeniul prelucrării materialelor.

Controlul numeric convenţional este în mare masură bazat pe munca unui singur pionier în acest domeniu – John Parsons. În anul 1940 acesta a pus la punct o metodă pentru folosirea cartelelor perforate pentru controlul poziţiei unei maşini-unelte. Maşina a fost învăţată să se mute pas cu pas, cu amplitudini mici, astfel puţându-se genera o suprafaţă dorită. În 1948 Parsons şi-a demonstrat teoria în faţa U.S. Air Force care, în consecinţă, a început să-i sponsorizeze munca la Massaschusetts Institute of Technology (MIT). Începând cu anul 1953, avantajele CN au început să fie cunoscute în toată lumea, producătorii de maşini-unelte începând să aibă propriile programe de cercetare în acest domeniu. US. Air Force şi-a continua sponsorizarea şi în alte programe de CN cu MIT, ca de exemplu Automatically Programmed Tools (APT) – Scule Automate Programate. Scopul APT a fost cercetarea unor căi de comunicare dintre inginerul de sistem şi maşina-

unealtă în limba engleză. APT este încă folosit pe scara largă şi în prezent şi multe limbaje de programare de CN folosesc nucleul APT.

a) Structura generală a unui sistem de CN. Un sistem de control numeric este format din următoarele trei părți principale componente (fig. 10.20):

- programul de instrucțiuni;
- unitatea de control maşină (UCM);
- maşina-unealtă sau alt proces de control.

Programul de instrucțiuni constituie datele de intrare pentru UCM, iar aceasta la rândul ei comandă maşina-unealtă. În funcție de modul în care instrucțiunile sunt date către servomotoarele maşinii cu CN pot exista:

- controlul cu ciclu-închis – mod de lucru folosit în majoritatea maşinilor cu CN existente pe piață; acesta presupune transmiterea instrucțiunilor către maşină, iar răspunsul aceteia este monitorizat în aşa fel încât eventualele erori să poată fi corectate în timp real;
- control cu ciclu-deschis – soluție de cost minim, în care maşina cu CN nu monitorizează răspunsul la comenzile de control

Într-o maşină cu CN, unealta sau capul de prelucrare se poate mişca în direcții multiple față de piesă, de aceea controlul se face pe mai mult de o axă. Exemple de aplicații şi numărul de axe pe care se face mişcarea maşinii-unelte sunt prezentate în continuare:

- două axe – în general mişcarea se face de-a lungul a două direcții ortogonale într-un plan – aplicații: maşini pentru sudarea cu plasmă, maşini de găurit, strunguri etc.;
- trei axe – în general mişcarea se face de-a lungul celor trei direcții ale unui sistem cartezian de coordonate (x, y şi z) – aplicații: maşini prelucrat prin aşchiere şi microaşchiere;
- patru axe – presupune mişcare liniară pe trei axe şi o mişcare de rotație; aplicații: strunguri cu capete multiple de prelucrat prin aşchiere;
- cinci axe – prespupune mişcare pe axele (x, y şi z) cu rotație pe două dintre acestea, de obicei x şi y – aplicații: maşinile de prelucrat prin aşchiere.



Fig. 10.20. Structura generală a unui system de control numeric.

Programul de instrucțiuni. Acesta reprezintă o listă de instrucțiuni care comunică maşinii-unelte ce trebuie să facă. De obicei, acest program este codat în forma numerică sau alt tip de mediu de intrare care poate fi interpretat de unitatea

de control UCM. După cum menţionam s-a plecat de la folosirea cartelelor perforate, ajungându-se în zilele noastre la unităţi flexibile sau fixe de disc, unităţi de CD, chiar comenzi vocale. Există două metode de comunicare a acestui program de instrucţiuni unitățtii de control. Prima metodă este aceea de introducere manuală a fiecărei instrucţiuni. Aceasta se foloseşte pentru procese simple. A doua metodă o constituie legătura directă cu un calculator digital. Aceasta se numeşte control numeric direct şi în acest caz, programul este transmis către UCM.

Unitatea de control maşină (UCM). Aceasta este formată dintr-o serie de circuite electronice şi este capabilă de a citi, interpreta şi converti instrucţiunile program în acţiuni mecanice ale maşinii-unelte. În general, structura unei UCM arată ca în figura 10.21.

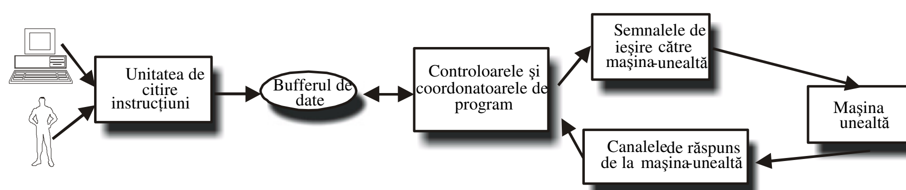


Fig. 10.21. Structura generală a unei UCM.

Unitatea de citire instrucţiuni este un dispozitiv electro-mecanic care realizează citirea manuală sau automată a instrucţiunilor program. Aceste instrucţiuni şi date sunt stocate în bufferul de date sub formă de blocuri logice de informaţie. Un bloc de informaţie reprezintă de obicei un singur pas a unei secvenţe de instrucţiuni. De exemplu, un bloc poate conţine instrucţiunile necesare deplasării capului maşinii-unelte şi realizarea unei găuri la destinaţie. Semnalele de ieşire către maşina-unealtă sunt conectate direct cu servomotoare şi alte elemente electromecanice de control. Prin aceste semnale se transmit instrucţiuni către maşina-unealtă. Pentru a fi siguri că aceste instrucţiuni sunt executate corect, canalele de răspuns transmit informaţii pentru eventuala corectare a acestora. Toate aceste componente sunt comandate şi controlate de coordonatoarele de control program care asigură buna funcţionare a întregului proces.

O componentă importantă a unui sistem de CN este panoul de control. Acesta conţine comutatoare, întrerupătoare şi alte elemente mecano-electrice cu care operatorul uman poate controla şi sistemul de control numeric.

Maşina-unealtă sau alt proces de control. A treia componentă de bază a unui sistem de control numeric este maşina-unealtă sau un alt proces ce trebuie controlat. În general, o maşină unealtă, proiectată pentru a realiza anumite operaţii conţine o masă de lucru, capete de lucru şi motoarele necesare pentru lucrul cu acestea. De asemenea, poate conţine elemente de tăiat, de fixare a obiectelor de prelucrat, cât şi alte elemente auxiliare necesare în operaţiile respective. Figura 10.22 prezintă două exemple de maşini-unelte cu control numeric.

b) Procedura de control numeric. Pentru utilizarea controlului numeric în procesul de producție, trebuie avuți în vedere următorii pași :

- *planificarea procesului.* Această etapă se referă la pregătirea unei liste de operații necesare procesului de producție. Secvențele de operații se referă atât la procesul de producție în sine, cât şi la operațiile necesare maşinii-unelte pentru obținerea rezultatelor dorite.

- *programare parțială.* Fiecare porțiune din procesul de producție trebuie programată într-un limbaj pe care şi sistemul de CN îl poate interpreta, înțelege şi executa. Operatorii însărcinați cu programarea parțială nu fac decât să traducă lista de secvențe de operații obținute la planificarea procesului într-un format special. Există două metode de programare pentru un sistemde CN şi anume:





Fig. 10.22. Exemple de maşini-unelte de prelucrare prin aşchiere cu CN.

- programarea manuală;
- programare asistată de calculator.

În programarea manuală, instrucțiunile sunt pregătite de operator într-un document care conține de fapt pozițiile relative şi operațiile pe care maşina-unealtă trebuie să le facă la un moment dat în timp, cât şi ordinea acestora. În programarea asistată de calculator, majoritatea acestor înstrucțiuni sunt generate automat, uşurând cu mult munca programatorului uman. În cazul unor piese cu geometrie complexă sau procese de producție cu multe operații, avantajul celei de-a două metode este în principal economia de resurse umane şi de timp.

- *pregătirea şi verificarea suportului de introducere date (cartele perforate, unități de disc etc.).* În programarea manuală, programul rezultat este înregistrat manual pe suportul de intrare (bandă perforată, cartelă perforată, bandă sau discuri magnetice etc.). Programarea asistată de calculator aduce şi în acest caz un avantaj, prin aceea că programul este înregistrat automat pe suportul respectiv, fără ca operatorul uman să intervină în vreun fel. Verificarea suportului pe care s-a stocat programul de proces se face în general prin simularea acesteia pe un calculator sau chiar pe maşina-unealtă respectivă, folosind materiale plastice.

Erorile întâlnite se corectează şi un nou suport este pregătit. Procesul este ciclic şi se termină când nici o eroare nu mai apare în operaţia de producţie. În general sunt necesare trei cicluri pentru ca versiunea finală, fără erori a programului să poată fi folosită în producţie.

- *producţia.* Ultima etapă a procedurii de CN este producţia. Aceasta presupune folosirea programului în procesul de producţie. Misiunea operatorului uman este aceea de a comanda materialele brute necesare, de a le încărca în maşina-unealtă şi de a fixa poziţia de start a capetelor de prelucrare faţă de piesa de prelucrat. În acest moment, CN poate prelua controlul procesului în funcţie de instrucţiunile stocate. Când piesa este gata, operatorul poate încărca piesa următoare şi procesul continuă în acest mod.

c) Controlul mişcării în sistemele cu CN. Pentru a se putea efectua procesele de prelucrare, un sistem de CN trebuie să aibe posibilitatea de a mişca uneltele sau capetele de lucru şi piesa de prelucrat, una faţă de cealalta. În sistemele cu CN există trei moduri de mişcare de bază:

- *punct-cu-punct*. În acest caz, scopul maşinii-unelte este să poziţioneze capul de prelucrare la o locaţie predefinită (fig. 10.23). Viteza şi felul cum se ajunge în acea locaţie nu contează.

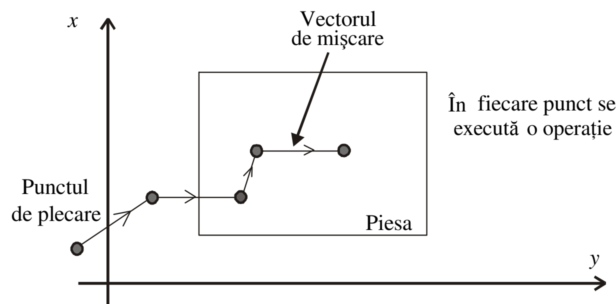


Fig. 10.23. Mişcare punct cu punct.

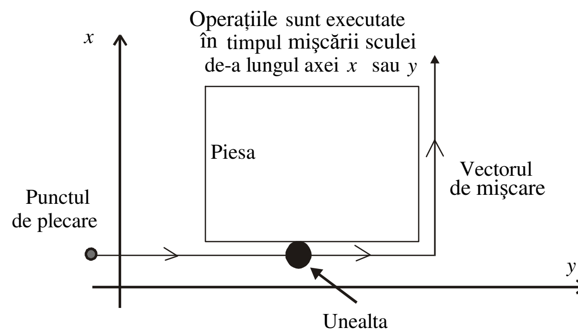


Fig. 10.24. Mişcare parelelă cu una din axele de coordonate.

- *paralel*. În acest caz, capul de prelucrat este mişcat cu o viteză controlată paralel cu una dintre axele principale ale întregului sistem (fig. 10.24).

- *pe contur*. Mişcarea pe contur este cea mai complexă, flexibilă şi scumpă dintre cele trei şi constă din urmărirea continuă a unui contur predefinit format din curbe geometrice (fig. 10.25). Un sistem de CN cu mişcare pe contur este capabil să efectueze toate cele trei mişcări.

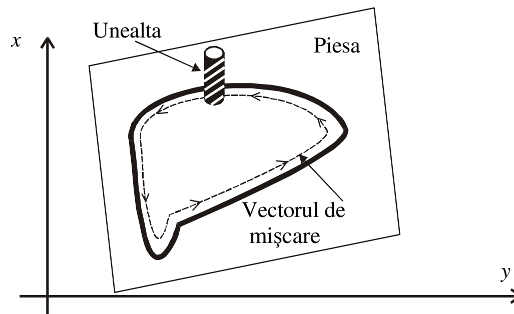


Fig. 10.25. Mişcare pe contur.

d) Computer numerical control (CNC). CNC este un sistem care foloseşte un program dedicat pentru controlul funcţiilor de bază de CN. În prezent, majoritatea sistememlor de CNC utilizează o unitate de control bazată pe un microcalculator. Configuraţia unui sistem CNC este foarte similară cu acea a unei maşini cu CN (fig. 10.26). Programele de lucru sunt transmise la unitatea de control într-un mod similar (ca de exemplu, cititoare de cartele sau de benzi magnetice). Diferenţa constă în faptul că faţă de CN, unde programul de lucru se introduce de fiecare dată când este nevoie, într-un sistem CNC acesta este introdus o singură dată şi este stocat în memoria calculatorului de control aferent.

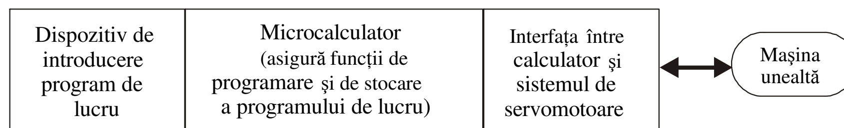


Fig. 10.26. Configuraţia unui sistem CNC.

Principalele funcţii ale unui sistem CNC sunt:

- *controlul maşinii unelte,* care este principala funcţie a unui sistem CNC; aceasta presupune conversia instrucţiunilor şi a programelor de lucru în mişcări ale capetelor maşinii-unelte cu ajutorul calculatorului şi a servomotoarelor aferente;

- *compensarea în timpul procesului*, aceasta presupune corectarea în timp real a mişcărilor capetelor de prelucrare în funcţie de eventualele erori sau schimbări ce pot apărea în timpul prelucrării;

- *tehnici de programare şi caracteristici de operare avansate*. CNC permite introducerea unor caracteristici de programare foarte folositoare, ca de exemplu: editarea progamului de lucru, afişarea vectorilor de mişcare pentru capetele de prelucrare, refolosirea unor rutine de programare existente în librării, posibilitatea de stocare a mai multor programe de lucru etc.;

- *diagnosticare.* Maşinile cu CNC sunt dotate cu un sistem de diagnosticare automată a erorilor existente în sistem (pentru a asista operatorul uman în întreţinerea şi repararea maşinii). Principala funcţie a acestui sistem este aceea de a identifica motivele pentru care maşină cu CNC nu mai funcţionează sau funcţionează eronat şi de a „anunţa" operatorul uman că eventuale reparaţii sunt necesare. De asemenea, când o componentă a sistemului este pe cale să nu mai funcţioneze, sistemul de diagnosticare avertizează operatorul, pentru ca acesta să poată schimba respectiva componentă fără disfuncţiuni prea mari pentru procesul de producţie. În general într-un sistem de CNC există mai multe componente redundante, având aceleaşi caracteristici şi aceleaşi funcţii în sistem (când o componentă a sistemului nu mai functionează sau functionează eronat, sistemul de diagnosticare deconectează automat componenta şi activează o componentă de rezervă de acelaşi fel, care îndeplineşte acelaşi rol).

Dintre avantajele folosirii CNC se pot menţiona:

- programul de lucru este transferat o singură dată către memoria calculatorului de control;

- programul de lucru poate fi editat şi modificat direct pe sistem (după transfer);

- CNC poate asigura conversia automată a unităţilor de măsură (a fişierelor de lucru realizate în inch în unităţi ale Sistemului Internaţional);

- posibilitatea introducerii unor noi opţiuni de control (ca de exemplu scheme de interpolare) conferă CNC o flexibilitate sporită;

- posibilitatea realizării unor librării de programe (scrise de operator) care pot fi rechemate la nevoie.

e) Control Numeric Direct (CND). CND poate fi definit ca un sistem de producţie în care un număr oarecare de maşini unelte sunt controlate de un calculator prin intermediul unei conexiuni directe cu acesta. Controlul se realizează în timp real. Unitatea de citire a fişierelor de lucru nu mai este prezentă într-un sistem de CND, programul de lucru fiind transmis maşinii unelte direct din memoria calculatorului.

Componentele unui sistem CND sunt prezentate în figura 10.27.

Calculatorul central preia fişierele de lucru din memorie şi le transferă maşinilor-unelte când este nevoie. De asemenea, monitorizează răspunsul maşinilor unelte la comenzile primite (comunicaţie în două sensuri), ceea ce înseamnă că în momentul în care o maşină-unealtă face o cerere de noi instrucţiuni, acesta este satisfăcut aproape instantaneu. Aceasta îi conferă sistemului CND proprietatea de operare în timp real.

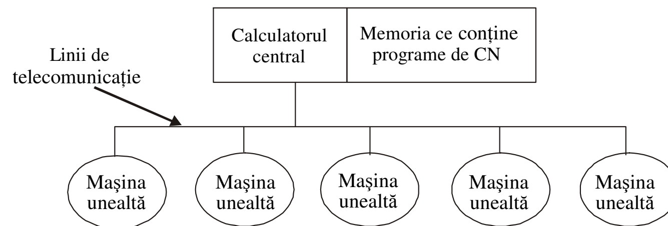


Fig. 10.27. Sistem de CND.

În cazul în care există un număr mare de maşini-unelte care trebuie controlate, sunt introduse nişte mâni-calculatoare numite calculatoare satelit (fig. 10.28). Acestea au proprietatea de a elibera calculatorul principal de sarcini, în aşa fel încât sistemul să poate opera în timp real. Un calculator satelit poate realiza controlul uneia sau mai multor maşini-unelte. Calculatoarele satelit comunică cu calculatorul central. Acesta trimite instrucțiuni fiecărui calculator satelit, iar acestea le stochează şi le trimite către maşina unealtă la nevoie.

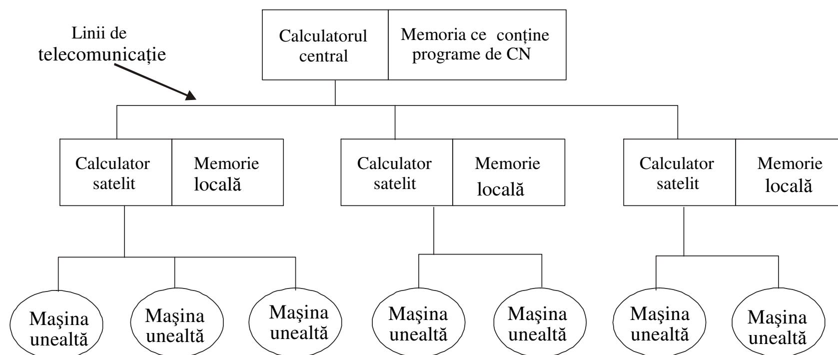


Fig. 10.28. CND cu calculatoare satelit.

Există două tipuri de sisteme CND:

- *CND cu control convențional*, în care calculatorul central este legat prin linii de comunicație cu unitatea de CN care transmite instrucțiunile către maşinile unelte (fig. 10.29);

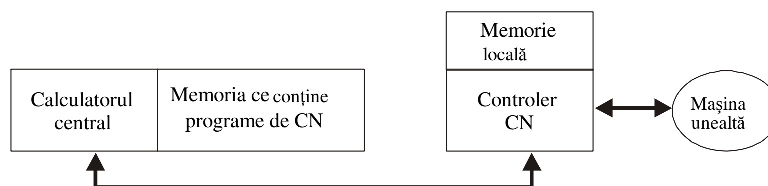


Fig. 10.29. CND cu control convențional CN.

- *CND cu unitate specială de control* (fig. 10.30), în care unitatea de CN este înlocuită cu o unitate specială de control maşină (UCM), care este proiectată în aşa fel încât facilitează comunicarea dintre maşinile-unelte şi calculatorul central.

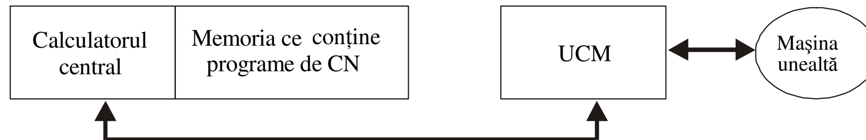


Fig. 10.30. CND cu UCM.

Spre deosebire de CND cu control convenţional, CND cu UCM are avantajul că funcţiile UCM pot fi uşor modificate în programul de lucru, faţă de unitatea de CN care presupune schimbări de configuraţie fizică (legături, servomotoare etc.).

Funcţiile principale ale unui sistemde CND sunt:

- eliminarea dispozitivului de introducere a programului de CN de lucru (de exemplu cititoarele de bandă şi cele de cartele);
- stocarea programului de lucru de CN în memoria calculatorului central sau/şi a calculatoarelor satelit;
- colectarea de date, procesarea acestora şi realizarea de raporturi de lucru, ca scop principal în monitorizarea producţiei;
- o retea de comunicaţii este necesară pentru realizarea comunicării dintre diversele unităţi ale sistemului.

Avantajele sistemelor CND faţă de sistemele cu control numeric convenţional provin tocmai din funcţiile pe care trebuie să le realizeze:

- eliminarea dispozitivelor de introducere a programului de CN de lucru;
- oportunităţi de operare şi flexibilitate sporită, datorită faptului că funcţiile şi procesarea de date se face pe calculatorul central cu pachete de programe (faţă de CN convenţional care implementează aceste operaţii la nivel fizic);
- posibilitatea stocării programelor de CN în memoria calculatorului central şi a refolosirii acestora, faţă de CN convenţional unde programul era introdus cu ajutorul cartelelor sau a benzilor/discurilor magnetice de fiecare dată când aceasta era necesar;
- realizarea de rapoarte de lucru (analiza producţiei, performanţele procesului etc.).

f) Aplicaţii de control numeric. Actualmente sistemele de CN sunt folosite pe scară largă în lume, mai ales în industria de prelucrare a materialelor. Cele mai multe aplicaţii ale CN sunt pentru maşinile-unelte de prelucrare prin aşchiere. În această categorie de maşini-unelte, sisteme de CN au fost proiectate pentru a realiza practic aproape toată gama de procese de înlăturare a materialului în exces, ca de exemplu: strunjire, frezare, găurire, rabotare, mortezare, broşare, rectificare etc.

Maşinile-unelte cu CN sunt recomandate numai pentru anumite operații. Caracteristicile generale ale proceselor de producție pentru care se pretează folosirea unor maşini-unelte cu CN sunt:

- piesele sunt realizate frecvent şi în loturi mici;
- geometria pieselor este complexă;
- în timpul prelucrării sunt necesare multe operații simple sau complexe;
- există mult material în exces (adaosuri de prelucrare mari);
- schimbări în schițele de proiectare sunt operate foarte des;
- piesa necesită o inspecție tehnică de 100%.

Pentru ca un proces de producție să fie realizat cu ajutorului unui sistem de CN nu este necesar ca toate aceste caracteristici să fie prezente. Totuşi, cu cât procesul are cât mai multe dintre aceste caracteristici, cu atât procesul poate fi un candidat din ce în ce mai bun pentru CN.

În afară de prelucrările prin aşchiere, CN a fost şi este folosiți cu succes şi în alte operații, ca de exemplu: laminarea, tragerea, extrudarea, ambutisarea, sudarea, tăierea cu plasmă, prelucrarea cu fascicol de electroni, prelucrarea cu fascicol de fotoni etc.

g) Avantajele folosirii unui sistemde CN. În cazurile când este implementat, un sistem de CN aduce un număr de avantaje semnificative. Câteva din aceste avantaje sunt prezentate în continuare, cu mențiunea că acestea sunt prezente doar în cazul sistemelor de CN implementate în domeniile şi procesele prezentate în paragrafele precedente.

- *reduceri ale timpului neproductiv*. Maşinile cu CN nu au nici un fel de influență asupra proceselor de bază de prelucrare. Totuşi, efectul folosirii CN se manifestă prin timpul cât maşina-unealtă este folosită în timpul procesului de prelucrare, prin scurtarea timpilor de pregătire a prelucrării, reducerea timpilor de manevrare a piesei, schimbarea automată a sculelor pentru anumite maşini şi aşa mai departe. Smith şi Evans în 1977 au efectuat un studiu asupra efectului maşinilor cu CN față de maşinile convenționale. Rezultatele găsite au aratăt o scurtare a timpilor între 20% şi 80%. Timpii de prelucrare tind să se scurteze cu cât complexitatea procesului de prelucrare creşte;

- *folosirea mai puțin frecventă a mijloacelor de fixare a pieselor*. Datorită faptului că poziționarea capetelor de prelucrare ale maşinii se face prin CN, fixarea piesei se poate face cu costuri foarte scăzute, nefiind necesare dispozitive complexe pentru aceasta;

- *reducerea timpului de producție*. Din cauza faptului că pregătirea pentru producție se poate face foarte rapid, folosind CN, şi în general mai puține etape pregatătoare sunt necesare, timpul necesar producției scade;

- *o mai mare flexibilitate în producție*. Folosind CN este mai uşor să adaptezi schimbările inerente dintr-un proiect. Totodată, chiar schimbarea timpilor de producție şi de livrare poate fi făcută, fapt ce poate constitui la rândul s-au o creştere a flexibilității procesului de producție;

- *control al calității îmbunătățit*. Sistemele de CN sunt binevenite acolo unde piesele au o complexitate sporită şi unde şansele de eroare umană sunt mari. Aceste sisteme permit obținerea de piese cu erori de prelucrare reduse;

- *inventar redus*. Numărul de obiecte de inventar este redus din cauza reducerii timpului de producție, a elementelor de fixare, a minimizării etapelor de pregătire a producției;

- *spațiu de producție redus*. De obicei o maşină cu CN poate realiza producția mai multor maşini-unelte convenționale, spațiul necesar acesteia fiind mult diminuat față de metodele convenționale.

h) Dezavantajele folosirii unui sistem de CN. Pe lângă avantaje, sistemele de CN prezintă şi o serie de dezavantaje, cum ar fi:

- *investiții cu cost ridicat*. Maşinile unelte cu CN reprezintă sisteme cu o tehnologie sofisticată şi complexă. De aceea, de multe ori, costul unei asemenea maşini poate fi foarte ridicat în comparație cu cele tradiționale. Amortizarea acestor costuri ridicate presupune o mai mare utilizare a acestor maşini față de cea a celor tradiționale;

- *costuri ridicate de întreținere*. Datorită faptului că maşinile cu CN sunt mai complexe şi sunt folosite mai intens problema întreținerii este mai stringentă. Deşi fiabilitatea sistemelor cu CN a fost dovedită de-a lungul anilor, costul cu întreținerea este de multe ori mult mai ridicat decât la cele convenționale;

- *problema găsirii şi instruirii operatorilor.* Anumite aspecte ale operațiilor maşinilor cu CN necesită cunostințe şi îndemânare ridicată față de operațiile convenționale, de aceea găsirea, angajarea şi instruirea unor operatori cu aceste calități tebuie să fie considerate ca dezavantaje.

Controlul numeric continuă să fie o tehnologie în plină dezvoltare. În fiecare an, maşini cu CN continuă să apară, cu caracteristici şi capabilități noi. În general, îmbunătățirile aduse unei maşini cu CN presupun folosirea tot mai accentuată a calculatorului, ca şi dezvoltarea unor limbaje de programare de control cât mai avansate.

10.2.5.2. Roboți industriali

Un robot industrial este o maşină programabilă, având anumite caracteristici antropomorfice. De exemplu, una dintre caracteristicile antropomorfe tipice este brațul. Acest braț, împreună cu capacitatea robotului de a fi programat, face ideal folosirea acestuia la o serie de procese de produce, ca de exemplu sudarea în puncte, vopsirea şi asamblarea. Un robot poate fi programat să realizeze o secvență de mişcări mecanice. Această secvență poate fi repetată la nesfârşit sau până când robotul este reprogramat să realizeze altă operație.

Robotul industrial are multe atribute în comun cu o maşină-unealtă cu CN. Acelaşi tip de tehnologie care este folosită pentru operarea unei maşini cu CN este folosită pentru mişcarea brațului robotului. Programarea unui robot diferă însă de programarea CN. Spre deosebire de o maşină cu CN, unde programul este stocat

pe un suport extern, la un robot programarea se stochează direct în memoria electronică a acestuia.

Conceptul popular de robot a fost întrodus de literatura ştiinţifico-fantastică sau filme de genul „Războiul Stelelor". Asemănarea unor astfel de roboţi atât cu anatomia umană, cât şi cu comportamentul uman, este mult exagerată. De aceea, există multe încercări de a defini un robot care să nu mai ţină seama de aspectul antropomorfic. De exemplu, Institutul American de Robotică a conceput următoarea definiţie:

Un robot este un manipulator multifuncţional, programabil, proiectat pentru a manipula material, piese, scule sau alte tipuri de obiecte cu ajutorul unor mişcări programate în scopul realizării unei largi varietăţi de procese sau prelucrări.

Structura generală a unui robot este prezentată în figura 10.31. În primul rând există un program pe care robotul, cu ajutorul unităţii centrale de execuţie şi control, trebuie să-l efectueze. În funcţie de acest program, unitatea de execuţie comandă servomotoarele şi actuatoarele robotului, care la rândul lor acţionează dispozitivele mecano-electrice sau terminaţiile braţului (mâna) cu care este dotat robotul. În tot acest timp, senzorii robotului sunt consultaţi, iar în funcţie de datele furnizate de aceştia, unitatea de execuţie şi control acţionează în consecinţă.

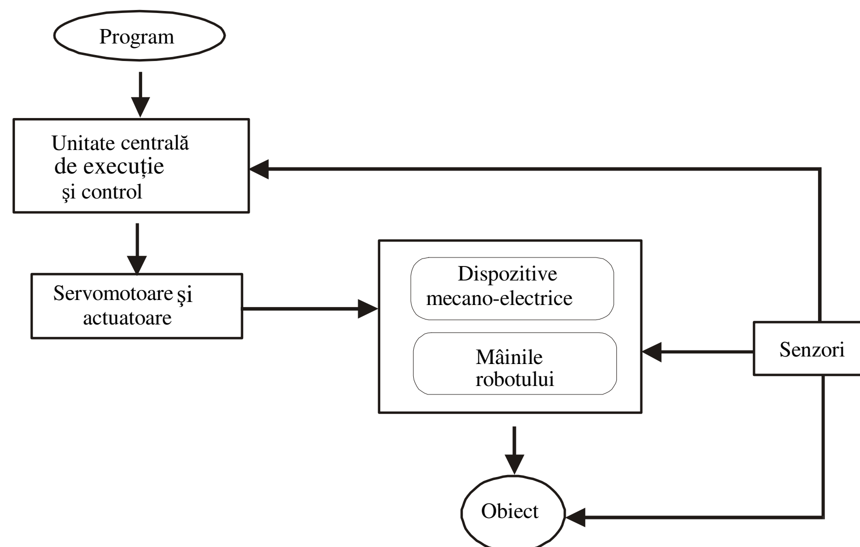


Fig. 10.31. Structura generală a unui robot industrial.

a) Configuraţia fizică a unui robot. Actualmente, industriali iau forme şi mărimi diferite. De asemenea, pot folosi diverse braţe şi sisteme de mişcare a acestora. În prezent, aproape toate tipurile de roboţi industriali disponibili comercial prezintă una din următoarele configuraţii:

- configurație în coordonate polare;
- configurație în coordonate cilindrice;
- configurație braț cu încheieturi;
- configurație în coordonate carteziene.

Cele patru configurații sunt prezentate şi în figura 10.32. Configurația în *coordonate polare* mai poartă şi numele de *coordonate sferice* pentru că, în acest caz, robotul îşi poate mişca brațul într-un spațiu descris de o sferă parțială. Aşa cum se poate vedea în figura 10.32. a, robotul posedă o bază de rotație şi un pivot care poate fi folosit la ridicarea sau coborârea brațului telescopic. În *coordonate cilindrice*, corpul robotului este o coloana verticală care se învârte în jurul axei verticale (fig. 10.32. b). Brațul mobil al robotului este format dintr-o serie de

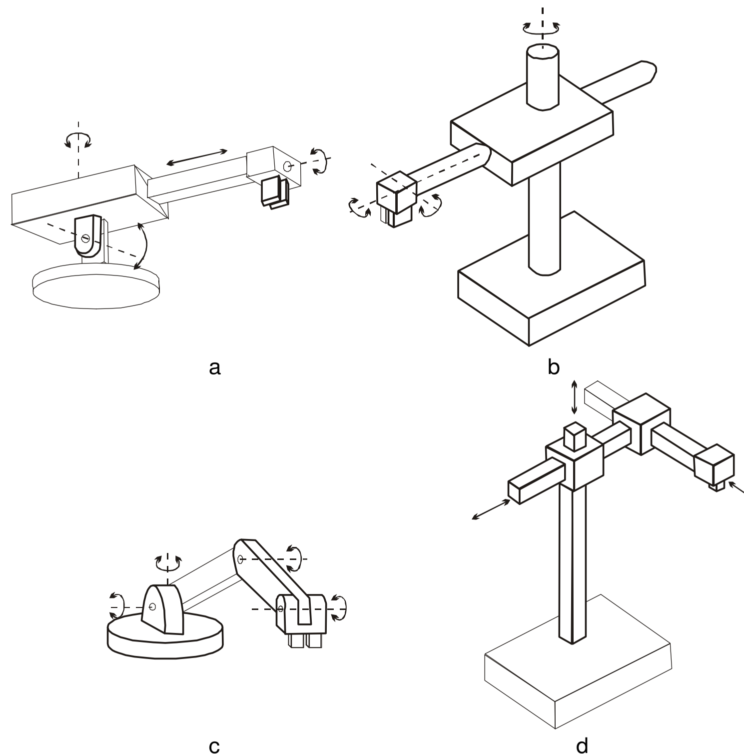
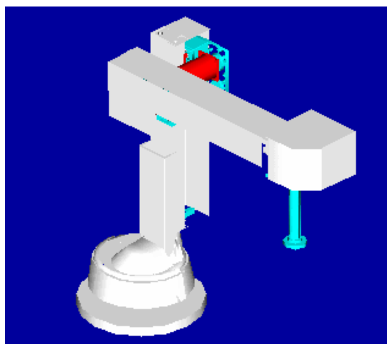


Fig. 10.32. Cele patru configurații de bază ale unui robot industrial:
a - în coordonate polare; b - în coordonate cilindrice; c - în braț cu încheietură; d - în coordonate carteziene (dupa Toepperwein ş.a.).

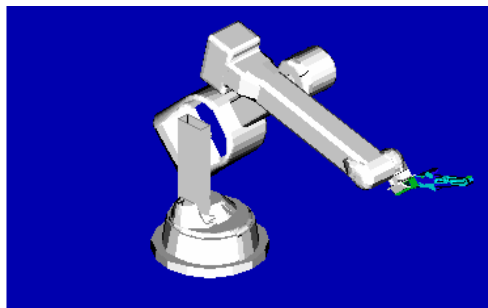
lagăre care permit mişcări de ,,în sus'' sau ,,în jos'', ,,de înainte'' şi ,,înapoi'' față de corpul acestuia. *Bratul cu încheieturi* este foarte similar cu un braț uman, aşa cum se poate vedea în figura 10.32. c. Este format din mai multe segmente drepte

conectate între ele prin încheieturi, care sunt similare cu umărul, cotul sau genunchiul uman. Brațul robotului este montat pe o bază pentru a se asigura rotația acestuia într-un spațiu sferic. Un robot construit în configurație de *coordonate carteziene* prezintă trei dispozitive de alunecare pe direcția fiecarei axe de coordonate ale unui sistem cartezian (fig. 10.32. d). Prin mişcări ale acestor



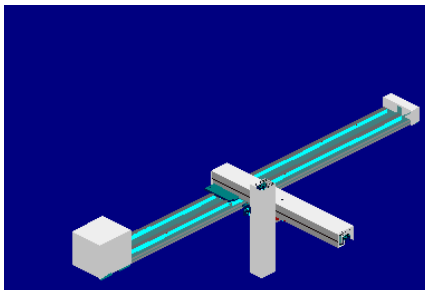


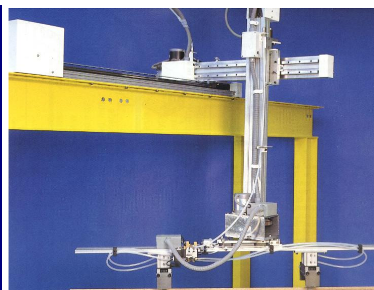
a





b





c

Fig. 10.33. Exemple de roboți în diferite configurații:
a – în coordonate clindrice, pentru umplerea cartuşelor de imprimantă cu cerneală; b – în configurație braț cu încheieturi, pentru vopsirea subansamblelor; c – în coordonate carteziene, pentru poziționarea precisă a pieselor de prelucrat.

dispozitive robotul îşi poate deplasa braţul în fiecare punct al spaţiului tridimensional.

În figura 10.33 sunt prezentate câteva aplicaţii ale unor astfel de roboţi industriali.

b) Mişcările de bază ale unui robot. Indiferent de configuraţia în care a fost construit un robot, scopul acestuia este să realizeze anumite operaţii. Pentru realizarea acestora, braţului robotului i se ataşează o aşa numită mână. Aceasta mână este poate singura diferenţă dintre roboţi din punctul de vedere al aplicabilităţii lor în diverse domenii. În funcţie de tipul acesteia, robotul poate fi folosit pentru efectuarea unor operaţii sau nu.

Există şase mişcări de bază sau grade de libertate care-i conferă robotului capacitatea de a mişca mâna. Aceste şase grade de libertate au fost concepute pentru a simula versatilitatea mişcării unui braţ uman. Nu toţi roboţii industriali sunt realizaţi cu abilitatea de a se mişca în toate cele şase directii. În funcţie de operaţia sau operaţiile pentru care au fost construiţi, ei pot prezenta mişcări numai în două, trei sau chiar patru direcţii.

Cele şase mişcări de bază constau în trei mişcări ale braţului şi corpului robotului şi trei mişcări ale încheieturilor, aşa cum se poate vedea din figura 10.34 şi tabelul 10.3.

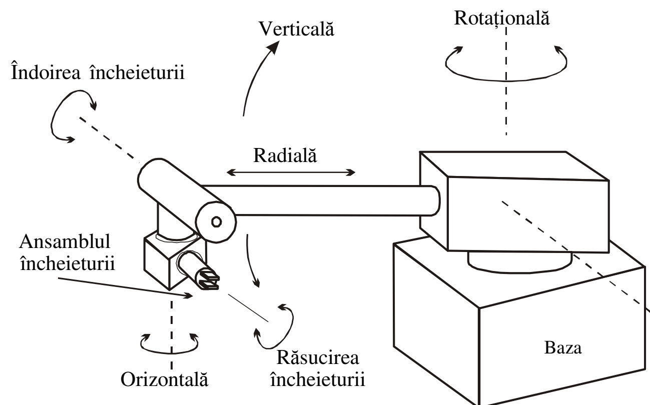


Fig. 10.34. Mişcarea unui robot cu şase grade de libertate (după Toepperwein).

Tabelul 10.3. *Mişcări posibile ale unui robot industrial*

Mişcări ale braţului şi corpului			Mişcări ale încheieturilor		
Verticală	Radială	Rotaţională	Răsucire	Îndoire	Orizontală
Mişcări de sus-jos ale braţului cauzate de pivotarea întregului braţ faţă de o axă orizontală	Extensie şi retractare a braţului	Rotaţie faţă de axa verticală	Rotaţie a încheieturii	Mişcare de sus-jos a încheieturii care presupune şi o mişcare rotaţională	Mişcare stânga-dreapta a încheieturii

Axe adiționale de mişcare sunt de asemenea posibil de definit şi implementat la un robot industrial. Un exemplu ar fi punerea robotului pe şine, aceasta conferindu-i acestuia un al şaptelea grad de libertate.

Pentru realizarea mişcărilor, robotul poate folosi două sisteme de mişcare: *punct-cu -punct* şi *pe contur*. Ca şi în cazul maşinilor cu CN, în sistemul punct-cu-punct robotul efectuează mişcări de la un punct la celălalt, după ce în prealabil aceste puncte au fost stocate şi programate în memoria electronică a acestuia. Mişcările prin care se ajunge de la un punct la celălalt nu au nici o importanță în acest caz. Astfel de roboți pot efectua operații de sudare în puncte, încărcare-descărcare piese sau obiecte, etc. Spre deosebire de sistemul punct-cu-punct, robotul cu mişcare *pe contur* are abilitatea de a urmări un cadru format din curbe geometrice. Specificațiile de memorie şi control ale acestor tipuri de roboți sunt mai complexe față de cei punct-cu-punct, pentru că tot conturul trebuie cunoscut şi nu doar anumite puncte din componența acestuia. Aplicațiile unor astfel de roboți sunt, de exemplu, vopsirea cu jet de vopsea, procese de sudare continuă pe contur etc.

În afară de tipul de mişcare şi numărul de grade de libertate, roboții mai prezintă şi alte caracteristici, ca de pildă, *precizia mişcării*, *viteza mişcării*, *timpul de realizare a mişcării*, *capacitatea de încărcare* etc. *Precizia mişcării* se referă la trei termeni: *rezoluția spațială*, care reprezintă cel mai mic increment al mişcării care poate fi realizată de robot; *acuratețea mişcării*, care este abilitatea unui robot de a-şi poziționa mâna la o anumită poziție; şi *repetabilitatea*, care se referă la abilitatea robotului de a-şi poziționa brațul înapoi la un punct în spațiul de lucru care a fost deja vizitat. *Viteza mişcării* poate fi aleasă în funcție de operațiile care urmează a fi efectuate. Un maxim al acestei viteze este de 1,5 m/s. *Capacitatea de încărcare* a robotului reprezintă în general capacitatea acesteia de a ridica anumite greutăți. În prezent sunt construiți roboti capabili să ridice de la 0,5 kg până la 1t. *Tipul mişcării* se referă la actuatoarele şi motoarele folosite pentru realizarea mişcărilor. Acestea pot fi în general hidraulice, electrice, pneumatice, ultrasonice etc.

c) Mişcarea unui robot manipulator. Sarcina unui manipulator este aceea de a mişca brațul sau terminația acestuia printr-o serie de poziții prestabilite, care formează traiectoria acestuia. Pentru a se putea misca pe traiectoria dorită, robotul trebuie să mişte încheieturile în aşa fel încât mişcările de răsucire necesare să fie realizate. Procesul este sintetizat în figura 10.35.

Primul pas este acela de specificare a mişcării, care se face de obicei prin instrucțiunile program. Planificarea traiectoriei este realizată printr-o serie de calcule şi transformari geometrice (de obicei, traiectoria este împărțită într-un număr de segmente de linie dreaptă sau curbe). Rezultatele sunt trimise către un controlor de proces, care le transmite la rândul sau către actuatoarele robotului. Cu ajutorul senzorilor prezenți în sistem, rezultatele mişcărilor respective sunt transmise de către robot către controlor (sau cu alte cuvinte, stările senzorilor sunt

citite de către controlor). În cazul unor erori, controlorul transmite către actuatoare corecţiile necesare, în aşa fel încât robotul să se deplaseze pe traiectoria dorită.

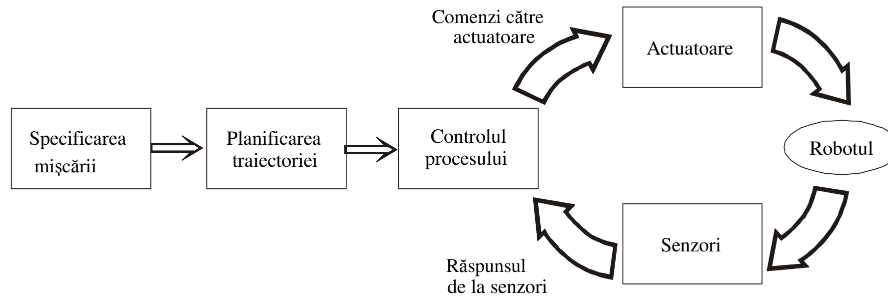


Fig. 10.35. Controlul mişcării unui manipulator.

d) Protecţia muncii într-un mediu de lucru cu roboţi industriali. Un sistem robotic este o integrare a unor roboţi industriali, maşini de lucru, canale de comunicaţie informaţională, calculatoare şi operatori umani. Dintre aceste componente, nici una nu poate fi considerată perfectă sau imună la eventuale erori. Prezenţa umană în cadrul spaţiului de lucru al roboţilor industriali permite riscul reciproc al unor daune şi de aceea este necesară formularea unor principii generale de protecţie a muncii.

Există patru grupuri umane în cadrul unui sistem robotic:

- *programatorii*. Un programator este în contact direct cu un robot sau cu spaţiul de lucru al acestuia şi de aceea este permanent în pericol de rănire personală;
- *inginerii de întreţinere*. Reprezintă altă grupă de risc din aceleaşi motive ca şi programatorii. În plus, pentru aceştia există şi pericolul electrocutării (în cazul reparării unui robot);
- *observatorii*. Roboţii sunt adesea văzuţi ca stând „nemişcaţi” pentru lungi perioade de timp. Programatorul ştie bineînţeles dacă aceste pauze sunt intenţionate sau nu, dar nu acelaşi lucru se întâmplă cu un observator;
- *alte persoane* care se presupun a se afla în afara zonei de pericol. Cu toate că un robot are o zona de lucru prestabilită, riscul de rănire nu este limitat în interiorul acesteia (dacă, de exemplu, componentele sistemului robotic nu sunt fixate corespunzător, acestea se pot desprinde, cauzând rănirea persoanelor din jur).

Procedurile de protecţia muncii, ca şi dispozitivele fizice de protecţie asigură înteracţiunea dintre oameni şi roboţi cu un risc minim de rănire. Există numeroase dispozitive de protectie fizice, ca de exemplu:

- comutatoare de contact;
- fascicule de raze înfraroşii;
- reţea de senzori de presiune;
- sisteme cu camere de luat vederi;

- lumini întermitente, roşii sau galbene care indică faptul că un robot (chiar dacă apare că stationar) este activ.

e) Programarea şi limbaje de programare pentru robotii industriali. Există mai multe metode în care un robot industrial poate fi programat:

- metoda manuală, care nu e de fapt o tehnică de programare, ci presupune mai mult folosirea de întrerupătoare, comutatoare sau alte mijloace pentru controlul unui robot;

- metoda *walkthrough,* când programatorul efectuează manual mişcările dorite ale robotului care sunt stocate în memoria acestuia pentru folosirea viitoare;

- metoda *leadthrough,* când programatorul operează robotul cu ajutorul unor mijloace electronice/mecanice, ca de exemplu, întrerupătoare, iar mişcările efectuate de robot sunt memorate în memoria acestuia;

- programare *off-line*, când programarea este efectuată de obicei pe un calculator, iar apoi este transferată robotului.

Primele trei metode de programare nu necesită folosirea unui anumit limbaj de programare. Cea de-a patra metodă însă este dependentă de folosirea unui limbaj de programare specific proiectat pentru roboți industriali. Există numeroase versiuni de limbaje de programare ale roboților. Două dintre aceste limbaje sunt VAL şi MCL.

VAL (Victor's Assembly Language) a fost conceput de Victor Scheinman pentru roboții PUMA produşi de Unimation Inc. VAL şi prezintă două tipuri de instrucțiuni: *instrucțiunile administrative*, care se referă la funcții de genul pregătirii robotului pentru stocarea sau execuția unui program, definirea punctelor în spațiu, comenzi de execuție a programului, şi *instructiunile de programare*, care reprezină o serie de mişcări de bază ale robotului.

Un exemplu de program VAL pentru sudarea în puncte este prezentat mai jos.

```
PROGRAM weld.style247
SI GNAL 5
MOVE home
MOVE pounce
WAIT SI G(1003)
APRO spot. Number[1]
CALL weld.spots
TIMER 1 = 0
ŞI G 6
WAIT TIMER(1) > 5
SI G –6
END
```

```
Program weld. Spots
FOR points 1 TO 18
TIMER –1 = 0
MOVES spot.number[points]
WAIT TIMER(-1) < .25
PULSE
WAIT WEL.DONE
END
RETURN
END
```

MCL (Machine Control Language) a fost dezvoltat de McDonnell-Douglas Corporation pentru un contract cu U.S. Air Force şi este bazat pe APT, limbajul de programare a unei maşini-unelte cu CN.

Exemple de instrucțiuni pentru comandarea roboților sunt prezentate în tabelul 10.4.

Tabelul 10.4. *Exemple de instrucţiuni pentru comanda robotului*

VAL	MCL
MOVE – mişcă robotul la o locaţie specificată	SEND – trimite un semnal de ieşire către o destinaţie specificată
MOVES – mişcă robotul între două puncte specificate	RECEIV – primeşte un semnal de intrare de la o sursă specificată
APPRO – mişcă mâna robotului cu o anumită distanţă faţă de un punct specificat	ABORT – opreşte întreaga activitate
OPENI – comandă deschiderea „pumnului” sau clestelui mâinii robotului	TASK – permite definirea unor secvenţe de mişcări pentru robot

f) Terminaţiile braţelor unui robot sau „mâinile” acestora. Acestea pot fi definite că nişte dispozitive care sunt ataşate încheieturii unui robot pentru a realiza o anumită operaţie. Este o unealtă specială ce ajută robotul să-şi îndeplinească sarcina primită. Există o mare varietate de mâini robotice, posbilităţile de construcţie a acestora fiind limitate doar de igeniozitatea şi imaginaţia constructorilor.

În prezent sunt două mari categorii de „mâini”: cleşti (*grippers*) şi capete de prelucrare (scule). Cleştii sunt folosiţi atât pentru prinderea unor piese, cât şi a sculele specifice de prelucrare. Felul în care este proiectat un cleşte depinde de natura prelucrării sau procesului pe care robotul trebuie să îl efectueze. Câteva exemple clasice de cleşti sunt următoarele: cleşti mecanici, unde forţa de frecare sau materialul din care este realizat ajută la prinderea obiectelor; cupe de aspiraţie, folosite în special pentru reţinerea obiectelor plate; cleşti magnetizaţi, folositi pentru reţinerea obiectelor metalice; cârlige, folosite pentru ridicarea anumitor obiecte; furtune, folosite pentru fluide, pulberi sau substanţe granulare. Există aplicaţii când un cleşte este folosit pentru prinderea sau reţinerea unei anumite scule de prelucrare, cu care apoi efectuează operaţiile pentru care a fost programat. În majoritatea cazurilor însă, sculele de prelucrare sunt prinse direct pe braţul robotului. Câteva exemple de scule de prelucrare folosite sunt: pistolul de sudare în puncte, dispozitivul de sudare cu arc electric, dispozitivele de găurit, dispozitivele de prelucrare de aşchiere, dispozitivul de tăiere etc.

g) Senzorii robotici. Pentru a-şi putea îndeplini cu succes sarcinile, un robot trebuie să posede abilităţi senzoriale aproape umane. Aceste abilităţi senzoriale includ vederea şi coordonarea mână-ochi, pipăitul şi auzul. De aceea, senzorii folosiţi în robotică pot fi înpărţiţi în trei categorii:

- senzori vizuali;
- senzori tactili şi de proximitate;
- senzori de voce.

Cercetarea în domeniul roboticii şi-a concetrat atenţia asupra senzorilor vizuali. Vederea în cazul unui robot este posibilă cu ajutorul camerelor video, a unei surse de lumină şi a unui calculator capabil să proceseze în timp real imaginile. Camera video este montată de obicei pe robot sau deasupra acestuia,

astfel încât câmpul de vedere să includă spaţiul de lucru al acestuia. Programele de procesare de imagine permit că sistemul să sesizeze prezenţa, poziţia şi orientarea unor obiecte, robotul putând astfel realiza operaţii de recuperare a pieselor sau obiectelor răspândite aleator pe o bandă de lucru, să recunoască anumite piese necesare altui proces, să facă inspecţii vizuale asupra pieselor prelucrate şi aşa mai departe.

Senzorii tactili dau posibilitatea robotului de a răspunde la forţe de contact între sine şi alte obiecte din spaţiul său de lucru. Aceştia sunt folosiţi de obicei pentru a se indica dacă vreun contact fizic s-a realizat cu un obiect.

Senzorii vocali permit robotului să recunoască vocea umană. Astfel, dacă anumite comenzi sunt recunoscute de robot, acesta va acţiona în consecinţă. În acest mod, de exemplu, programarea robotului devine mult mai facilă sau robotul poate fi reprogramat chiar în timpul lucrului.

h) Avantaje ale folosirii roboţilor industriali. Câteva din avantajele folosirii unui robot într-un proces industrial sunt prezentate în continuare:

- lucrul în medii de muncă periculoase pentru viaţa umană. În situaţii de lucru când există pericole potenţiale ca de exemplu, căldura excesivă, radiaţii sau toxicitate sau locul este prea inconfortabil şi neplăcut, un robot poate fi considerat ca un înlocuitor al unui operator uman. Exemple de astfel de situaţii de lucru sunt turnarea, vopsirea, forjarea etc.

- procedee ce au o repetabilitate crescută în timp. Dacă procesul de producţie necesită operaţii care se repetă fără deosebiri de la un ciclu de producţie la altul, un robot poate fi programat special pentru acesta.

- manevrare dificilă. În cazul în care procesul de producţie presupune manevrarea dificilă a pieselor sau capetelor de lucru necesare, atunci un robot poate fi programat pentru realizarea prelucrărilor. Un exemplu poate fi un proces de producţie în care este necesară manevrarea unor piese de greutate ridicată, făcând astfel practic imposibilă folosirea operatorilor umani.

i) Exemple de implementare a roboţilor. Groover clasifică ariile de aplicaţii ale roboţilor îndustriali în şapte categorii şi anume:

- transfer de materiale;
- încărcare descărcare la maşinile de prelucrat;
- sudare;
- vopsire;
- operaţii de producţie;
- asamblare;
- inspecţie.

Aplicaţiile de transfer de materiale sunt operaţiile în care robotul este folosit la mutarea componentelor sau materialelor de la un loc la altul. De exemplu, transferul de material poate fi de la o bandă de producţie la cealaltă, operaţii de stivuire a materialelor brute sau a pieselor finite, încărcarea unor părţi sau componente de pe banda de producţie în cutii sau invers etc. Roboţii folosiţi în

aceste cazuri posedă calități tehnice scăzute.

Aplicațiile de încărcare-descărcare la maşinile de prelucrat presupun folosirea roboților pentru a furniza materialele brute sau pentru descărcarea pieselor finite din acestea. Diferența între aceste aplicații şi cele de transfer constă în faptul că robotul lucrează direct cu maşina de prelucrare (şi nu indirect ca în cazul aplicațiilor de transfer, unde, de exemplu, robotul lucrează cu banda de producție). Roboții sunt folosiți cu succes în aplicații de forjare, de presare, aşchiere, turnarea sau injecția în forme etc.

Aplicațiile la sudare reprezintă o arie importantă de implementare a roboților industriali. După tipul de sudare, aceste aplicații se impart în două mari categorii:

• *Sudarea în puncte* unde cei doi electrozi reprezintă cleştii unui robot. Aceşti cleşti pot fi montați cu uşurință ca terminație a unui braț de robot. Folosind aceşti electrozi, un robot poate efectua sudarea în puncte prin următoarele faze:

- poziționarea electrozilor în punctul dorit;
- presarea celor doi electrozi asupra celor două părți de sudat;
- sudarea şi menținerea (conducerea curentului prin cele două părți de metal creează căldura şi fuziunea acestora) în vederea solidificării punctului;
- răcirea – înainte de trecerea la următorul punct de contact, un timp suficient este alocat pentru răcirea sudurii;
- desprinderea şi trecerea la punctul următor.

Sudarea în puncte a devenit una dintre cele mai importante aplicații ale roboților industriali, mai ales în cazul îndustriei de automobile. Primul robot pentru sudare în puncte a fost construit în anii 1960 şi a fost folosit pentru realizarea caroseriei automobilelor Vega. În prezent, aproape toți constructorii de automobile folosesc roboți pentru realizarea sudării în puncte a caroseriilor.

• *Sudarea cu arc electric.* Câteva procedee de sudare cu arc electric pot fi realizate cu succes de roboți. Printre acestea se menționează în primul rând sudarea cu gaze inerte (sudare MIG sau TIG). Aceste tipuri de procedee de sudare sunt de obicei efectuate de sudori umani, care adesea au de înfruntat condiții periculoase de lucru (căldura excesivă, discomfort, radiații etc.). De aceea, aceste operații pot fi programate pentru a fi efectuate de roboți industriali. Totuşi, există şi câteva probleme cu implementarea roboților pentru procedeele de sudare cu arc electric. În primul rând, sudarea cu arc electric este în general folosită pentru un lot mic de piese sau obiecte şi de aceea folosirea roboților nu este întotdeauna justificată din punct de vedere economic. În al doilea rând, de multe ori, obiectele de sudat au mărimi foarte diferite. Sudorii umani se pot adapta foarte uşor, la aceste variații, însă adaptarea roboților este un proces de lungă durată şi costisitor. În al treilea rând, sudorii umani pot fi folosiți în locuri greu accesibile (în conducte, puțuri, rezervoare), locuri în care prezența unui robot este practic imposibilă. În ultimul

rând, tehnologia actuală nu posedă senzori performanți pentru sesizarea variațiilor parametrilor într-un proces de sudare cu arc.

O stație tipică de roboți de sudare conține următoarele:

- un robot capabil de mişcări pe contur;

- o unitate de sudare, formată din capete de sudură şi sursă electrică de putere;

- un manipulator al pieselor care trebuie să poziționeze şi să preseze părțile metalice de sudat.

Un controlor al proceselor este adesea necesar pentru a coordona activitatea celor trei părți ale sistemului de sudare. În unele sisteme de sudare cu arc, operatorii umani pot încărca şi fixa părțile de sudat, robotul efectuând doar sudarea.

Dintre avantajele atribuite unui sistem robotic de sudare cu arc electric pot fi amintite: productivitatea crescută, protecția muncii mărită, sudurile mai bune şi mai rezistente. Creşterea productivității rezultă din faptul că un robot nu are nevoie de pauză între procesele de sudare (ştiut fiind că procesul de sudare este unul obositor, necesitând o coordonare ochi-mână foarte ridicată), ca şi din faptul că manipulatorul încarcă şi descarcă părțile de sudare fără a „obosi ”.

Aplicațiile de vopsire. Multe din produsele de larg consum şi industriale necesită o formă sau alta de vopsire. De obicei, operatorii umani folosesc pistoale cu jet pentru operația de vopsire. Există multe riscuri pentru sănătatea operatorilor într-o vopsitorie, ca de exemplu toxicitatea vaporilor ce se degajă în timpul operației de vopsire, zgomotul produs de capul de vopsire, pericolul de foc datorită vaporilor inflamabili ce se degajă, şi de aceea roboții industriali specializați sunt folosiți cu succes pentru această operație. Vopsirea cu jet necesită un robot capabil de mişcări line în aşa fel încât stratul de vopsea aplicat să fie uniform. Pentru aceasta, robotul este echipat cu actuatoare capabile să execute mişcări continue. Capul de vopsire devine terminația brațului robotului, iar programarea robotului se face de obicei prin metoda *walkthrough.*

Alte aplicații de producție. Aceste aplicații conțin implementarea unui robot pentru alte procese de producție, altele decât sudarea sau vopsirea. Ca şi în cazul vopsirii, scula de lucru devine terminația brațului robotului industrial (de exemplu, scula de găurire în cazul operației de găurire). Exemple de implementare pot fi: găurirea, aşchierea, devaburarea, tăierea cu jet de apă, tăierea cu fascicul de electroni sau jet de fotoni, laminarea etc.

Asamblarea. Motivul principal al folosirii roboților în aplicații de asamblare în procese de producție pe loturi este unul economic. Pentru producția de masă, cea mai economică soluție este aceea a automatizării liniilor de producție (echipamente specializate pe realizarea respectivului produs). În asamblarea pe loturi, este mai puțin economic folosirea automatizării, deoarece variațiile caracteristicilor produsului sau chiar tipul de produs poate fi schimbat relativ repede, iar construirea unor alte echipamente specializate ar duce la creşteri

substanțiale de costuri. De aceea, proprietatea robotului industrial de a fi programat pentru un anumit tip de operație a unui produs, îl face pe acesta un candidat important pentru implementare. Cu alte cuvinte, flexibilitatea unui robot industrial este exact ceea ce este necesar într-o producție pe loturi.

Inspecția. Ca şi asamblarea, inspectia este o arie relativ nouă pentru implementarea roboților industriali. Operația de inspecție este o activitate înceată şi plictisitoare şi necesită un efort de muncă ridicat. Din această cauză, operatorii umani folosesc eşantioane pentru inspecție (şi nu inspectia fiecărui produs în parte). Cererea crescândă de produse de calitate face ca automatizarea procesului de inspecție să fie o necesitate. Un rol important în acest proces îl joacă roboții industriali. Aceştia, echipați cu probe mecanice, senzori optici sau cu alte dispozitive de măsurare pot fi programați pentru a realiza testarea dimensională sau a altor caracteristici a produsului testat.

10.3. APLICAȚIE CAD/CAM

Una dintre cele mai importante amplicații ale implementării CAD/CAM în procesele de producție este aceea a realizării de prototipuri ale produselor în regim rapid de lucru (RP - rapid prototyping).

10.3.1. Definire

În ultimul deceniu a fost dezvoltat un mare număr de sisteme de produce, care permit transformarea conceptului de realizare a unui produs complex într-o replică solidă obținută într-o perioadă scurtă de timp (de la câteva ore la câteva zile). Tehnologiile convenționale presupun realizarea unui prototip în săptămâni sau chiar luni. Acestă nouă tehnologie, RP, a fost dezvoltată în principal în SUA şi este acum folosită pe scară medie în toată lumea.

RP este descris în principal ca metoda în care piesa este creată prin adăugarea repetată a unor straturi de material. Folosind programe de calculator specializate în grafică în trei dimensiuni, un model 3D CAD este „tăiat” în straturi sau secțiuni foarte subțiri. Apoi, în funcție de metoda specifică folosită, maşina sau sistemul RP construieşte piesa strat cu strat până când o replică solidă a modelului CAD este generată. Selecția materialului este de asemenea specifică metodei folosite. Datorită caracteristicilor sale speciale, RP a făcut ca producerea de piese complexe să fie fezabilă. În plus, simplitatea planificării procesului a demonstrat potențialul acestei metode pentru realizarea unor procese de producție rapidă (RM – rapid manufacturing). Rezultatul RP – prototipul – reprezintă un model conceptual pentru vizualizarea şi analiza proiectării (fig. 10.36). Poate fi folosiți de ingineri pentru verificarea formei şi pentru a realiza teste funcționale limitate.

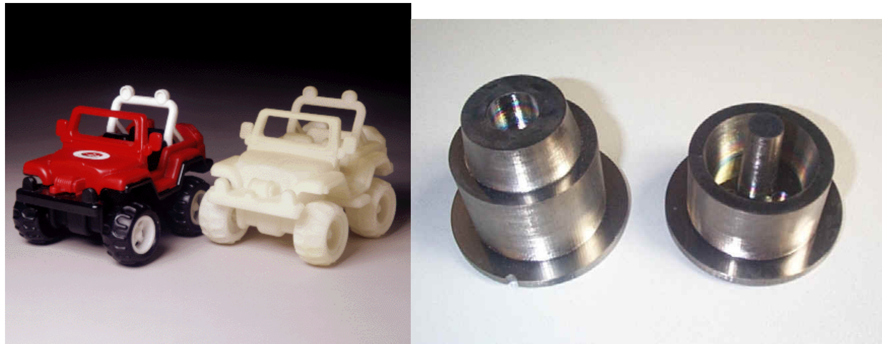


Fig. 10.36. Exemple de prototipuri realizate prin RP.

10.3.2. Principii de bază ale RP

Sistemele de RP permit utilizatorilor să producă prototipuri în mod rapid şi eficient, dar şi cu o precizie ridicată, încă din faza de proiectare. Aceste sisteme creează obiecte direct dintr-un model 3D CAD, permiţând producătorilor atât să reducă substanţial timpul de proiectare şi costurile, cât şi să îmbunătăţească substanţial calitatea produselor prin verificarea schiţelor de proiectare. Toate sistemele de RP au în comun faptul că realizează prototipuri prin adăugare de noi straturi de material folosind informaţii din modelul CAD. Acest model CAD trebuie să fie realizat într-un standard industrial de RP, format STL (*Sterea-Litography*). În acest format, modelele solide în CAD sunt transformate în modele de suprafeţe ce conţin un număr mare de triunghiuri. Apoi, modelul în format STL poate fi ,,tăiat” în straturi de dimensiuni specificate de operatorul uman (informaţie 2 1/2D).

Multe din maşinile comerciale de RP pot realiza o simulare pentru detectarea erorilor de transformare a modelelor CAD convenţionale în format STL. Simultan se poate estima de asemenea timpul necesar construirii modelului solid.

Bazându-se pe acestă informatie 2½ D, piesele pot fi astfel construite prin stratificare, scanare sau umplere cu material a acestor secţiuni în ordine corespunzătoare. Rezultatul acestui principiu de lucru este crearea unor modele solide cu suprafeţe în formă de ,,scară”, caracteristică comună tuturor proceselor de RP. Aceasta are un efect negativ asupra acurateţii de producţie şi necesită alte prelucrări ulterioare. Efectul de ,,scară” este combătut prin diferite metode, ca de exemplu modificarea strategiei de generare a straturilor sau reducerea grosimii acestora, folosind un mecanism avansat de aplicare a materialelor şi materiale cu proprietăţi complexe. Materialele brute implicate în general în procesele de RP includ răşini, pulberi, filamente termoplastice, ceară, celuloză, hârtie etc.

O dată început procesul de RP al unei piese, intervenţia umană este minimă în comparaţie cu procesele tradiţionale. În general maşinile de RP funcţionează

nesupravegheate (fără intervenţie umană) până la terminarea piesei, după ce în prealabil, operatorul uman a peterecut un interval de timp scurt pentru pregătirea programului de lucru al maşinii respective. De aceea, folosind o maşină RP se poate realiza o economie considerabilă de resurse (umane şi de timp). Unele din maşinile de RP sunt ecologice din punct de vedere al materialului folosit şi de dimensiuni mici şi de aceea pot fi folosite chiar în biroul de proiectare în acelaşi mod în care este folosită o maşină de fotocopiere (xerox).

În ultimii ani, tehnologia RP s-a dezvoltat în mod continuu şi exponenţial devenind deja o ramură importantă în industrie.

10.3.3. Avantajele şi dezavantajele RP

Avantajele acestei tehnologii sunt evidente:

- dezvoltarea de modele fizice poate fi realizată într-un timp semnificativ mai mic decât folosind tehnologii convenţionale;
- transferul foarte uşor de la un model CAD la o piesă reală;
- nu necesită investiţii adiţionale pentru scule specifice;
- costul piesei este independent de complexitatea ei;
- asigură o flexibilitate crescută a proceselor de producţie.

Unul dintre principalele dezavantaje ale acestor sisteme de RP este acela al investiţiei primare. Toate aceste maşini au costuri foarte ridicate, situate la un nivel mediu de 350 000 − 500 000 USD, pentru un volum de lucru de 0,5×0,5×0,5m. Celelalte dezavantaje provin din limitările tehnice ale sistemelor şi tehnicilor existente pe piaţă, putându-se menţiona:

- asigură crearea de prototipuri de volum mic;
- gama de materiale folosite pentru realizarea prototipurilor nu este foarte mare;
- este un proces lent în cazul procesării de piese de volume medii până la mari (injecţia în forme este de 100 de ori mai rapidă decât RP);
- acurateţea scăzută – este dificilă menţinerea unei acurateţi de ± 0,1 mm;
- costul ridicat al materialelor (răşinile pentru stereolitografie costă în jur de 300 USD/kg).

10.3.4. Ciclul de producţie RP

Aşa cum s-a mai menţionat, RP poate fi folosit pentru mai multe etape ale procesului de proiectare. Acest paragraf descrie ciclul de la proiectarea CA şi până la realizarea prototipului (fig. 10.37).

Ciclul RP începe cu proiectarea CAD. Aceasta poate fi repetată de câteva ori până când se obţine un model cu caracteristicile dorite.

Urmează apoi etapa de generare a fişierelor CAD. Formatul final al fişierului sau fişierelor trebuie să fie un model solid al prototipului ce trebuie

realizat. Din fişierul sau fişierele CAD, un alt fişier trebuie creat, fişier cu extensia SLT. Formatul STL (care derivă din *Stereo-Litography*) este în prezent un format standard pentru maşinile de RP din Statele Unite ale Americii. Aceste fişiere sunt de obicei stocate în formă binară, pentru economie de spaţiu pe discul magnetic.

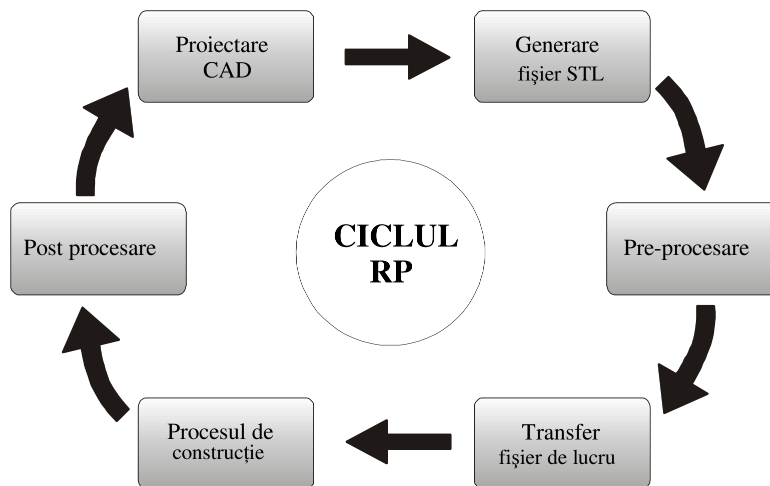


Fig. 10.37. Ciclul RP (dupăCooper, 2001).

Dupa realizarea fişierului STL, acesta trebuie prelucrat şi adaptat diferitelor tipuri de sisteme de RP. Unele sisteme pot accepta direct fişiere STL, în timp ce celelalte necesită o „pre-procesare” prealabilă. Aceasta pre-procesare se face în general pe un computer separat de sistemul de RP, pentru economie de timp şi pentru a nu ţine ocupată maşina RP. Această pre-procesare presupune o setare a parametrilor pentru controlul maşinii de RP respective. Un fişier de lucru este astfel salvat într-un format care poate fi interpretat şi executat de sistemul de RP respectiv.

Fişierul de lucru trebuie acum transferat sistemului de RP. Această operaţie poate fi efectuată fie manual (prin transferul unui disc magnetic) sau transfer printr-o reţea locală de calculatoare. În general, pentru o piesă relativ complexă, fişierul de lucru are dimensiuni considerabile şi de aceea o reţea care să includă sistemul de RP este indispesabilă pentru operaţia de transfer.

O dată realizat transferul fişierului de lucru, procesul de construcţie al prototipului poate începe. După terminarea acestui proces, de obicei, este necesară o etapă de post-procesare. Aceasta presupune înlăturarea materialului în exces ca şi curăţirea produsului final.

Dacă produsul final corespunde din punct de vedere al caracteristicilor, atunci ciclul RP este încheiat. Altfel, modificări pot fi făcute la nivelul etapei de proiectare CAD şi ciclul este repetat.

10.3.5. Implicațiile RP

Implicațiile RP au un număr mare de efecte în diferite stadii ale ciclului de producție, ca proiectarea, alegerea materialelor, producția propiu-zisă, vânzari etc.

Din punct de vedere al proiectării, RP aduce nou posibilitatea:

- reducerii numărului de părți componente ale produsului ceea ce conduce la un proces de asamblare mult mai ușor;
- forme geometrice suprapuse în schițe;
- linii geometrice neîntrerupte;

În prezent, materialele folosite în RP sunt limitate la un număr foarte mic. Unul dintre principalele potențiale de cercetare în acest domeniu este acel al lărgirii gamei de materiale prin folosirea unor materiale compozite, prin controlarea porozității acestora etc.

Implicațiile pe care RP le poate aduce în procesul de producție propiu-zisă, sunt foarte importante şi anume:

- asigurarea unui proces de producție cu adevarat flexibil – se poate schimba geometria produselor fără a fi afectată eficiența proceselor;
- nu necesită nici un fel de scule specializate, implicând astfel timp de producție şi învestiție de capital scăzute;
- asigură o planificare mai simplă a producției – nu e nevoie de scule, de aprovizionare, iar timpii necesari prelucrărilor sunt calculați chiar de către sistem.

Vânzările unei companii care foloseşte RP vor fi influențate prin producerea unor piese mai ieftine într-un timp mai scurt, decât în cazul folosirii unor tehnologii tradiționale. De asemenea, clienții se pot implica foarte mult în procesul de proiectare după dorințele lor.

10.3.6. Aplicații practice ale RP

Există cinci mari tendințe de folosire ale metodelor de RP şi anume:

- *vizualizarea prototipului.* Chiar dacă cineva este expert în citirea schițelor de proiectare sau a imaginilor 3D dintr-un sistem CAD ale unei piese complexe, tot este foarte greu de vizualizat cu precizie cum va arata piesa. Găuri, pasaje interioare sau suprafețe curbe fac uneori interpretarea acestora foarte dificilă. În acest caz, zicala ,,o fotografie valorează cât 1 000 de cuvinte" poate fi redefinită ca ,,un prototip real şi palpabil valorează cât 1 000 de fotografii". Cu alte cuvinte, pentru o piesă nouă, nu există modalitate mai bună de verificare a caracteristicilor acesteia decât piesa palpabilă în sine, pe care operatorul o poate privi din toate părțile;
- *verificarea proiectării.* O cauză posibilă a calității scăzute a unora dintre piese este aceea a compromiterii proiectului din cauze legate de timp sau cost. Cu metode tradiționale, verificarea proiectului unei piese implică realizarea unor serii de prototipuri, proces adesea mare consumator de timp şi de bani. În contrast,

metodele de RP pot genera prototipuri foarte repede şi de aceea verificarea proiectului poate fi făcută rapid şi cu costuri scăzute. Procesul de îmbunătăţire a calităţii unei piese poate fi sintetizat astfel:

- proiectarea prototipului cu ajutorul unui program CAD;
- construirea prototipului cu o metoda de RP;
- inspectarea prototipului RP şi determinarea erorilor posibile;
- corectarea erorilor în programul CAD;
- verificarea noului prototip RP modificat;
- când nu mai există erori, construirea unui model funcţional;
- testarea funcţională a acestuia (în regim real de lucru);
- producerea piesei (dacă prototipul corespunde din punct de vedere funcţional, se trece la producerea piesei);

- *etapizarea proiectării (proiectare în mai multe etape).* Cu metode tradiţionale, dezvoltarea unui prototip era foarte mare consumatoare de resurse (umane şi materiale) şi de aceea timpul afectat etapelor de proiectare era relativ scăzut (sau erau realizate mai multe etape de proiectare în acelaşi timp). Cu metodele de RP este acum posibilă trecerea prin mai multe etape de proiectare în mod rapid şi cu costuri scăzute. Procesul prezentat anterior, de îmbunătăţire a calităţii unei piese, poate fi modificat (cu ajutorul tehnologiei de RP) astfel:

- proiectarea prototipului cu ajutorul unui program CAD;
- construirea prototipului cu o metodă de RP;
- inspectarea prototipului RP şi determinarea erorilor posibile;
- corectarea erorilor în programul CAD;
- verificarea noului prototip RP modificat;
- realizarea unei noi etape de proiectare folosind tehnologia de RP;
- când nu mai există erori, construirea unui model funcţional;
- testarea funcţională a acestuia (în regim real de lucru);
- producerea piesei (dacă prototipul corespunde din punct de vedere funcţional, se trece la producerea piesei);

- *optimizarea produsului.* Procesul prezentat mai sus prezintă o metodă practică de îmbunătăţire a calităţii unui produs cu jutorul tehnologiei de RP. Cu toate acestea, optimizarea proiectării poate de asemenea îmbunătăţi situaţia. Ca fiecare etapă de proiectare şi optimizarea poate fi costisitoare din punct de vedere al timpului şi al costurilor. Metodele de RP permit echipei de proiectare să se joace cu expresia „şi dacă” pentru îmbunătăţirea produsului. De exemplu, se pot modifica caracteristicile geometrice ale noului produs foarte simplu şi cu costuri scăzute. De aceea procesul de îmbunătăţire a calităţii poate fi modificat după cum urmează:

- proiectarea prototipului cu ajutorul unui program CAD;
- construirea prototipului cu o metodă de RP;
- inspectarea prototipului RP şi determinarea erorilor posibile;

- corectarea erorilor în programul CAD;
- verificarea noului prototip RP modificat;
- realizarea unei noi etape de proiectare folosind tehnologia de RP;
- optimizarea şi testarea multiplelor variante de proiectare folosind tehnologia de RP;
- când nu mai există erori, construirea unui model funcțional;
- testarea funcțională a acestuia (în regim real de lucru);
- producerea piesei (dacă prototipul corespunde din punct de vedere funcțional, se trece la producerea piesei);

- *fabricarea modelului funcțional.* Când un prototip a fost realizat prin paşii descrişi mai sus, este foarte important de fabricat un model funcțional real de test. Acest model nu se ştie încă dacă va trece toate testele funcționale. De aceea, construirea prematură a liniilor de fabricație sau realizarea sculelor necesare fabricării acestuia poate fi un proces cu costuri ridicate, dar fără nici un final. Din nou, tehnologia de RP poate veni în ajutor. În prezent există un număr mare de metode care permit realizarea unui model funcțional într-un timp relativ scăzut şi cu costuri minime. Procesul de construire a noului produs (cu o calitate îmbunătățită) se poate tranforma din nou, astfel:

- proiectarea prototipului cu ajutorul unui program CAD;
- construirea prototipului cu o metodă de RP;
- inspectarea prototipului RP şi determinarea erorilor posibile;
- corectarea erorilor în programul CAD;
- verificarea noului prototip RP modificat;
- realizarea unei noi etape de proiectare folosind tehnologia de RP;
- optimizarea şi testarea multiplelor variante de proiectare folosind tehnologie de RP;
- construirea unui model funcțional folosind tehnologia de RP;
- testarea funcțională a acestuia (în regim real de lucru);
- producerea piesei (dacă prototipul corespunde din punct de vedere funcțional, se trece la producerea piesei).

Se poate observa că în această versiune finală a procesului de îmbunătățire a calității unui produs, din 10 etape, şase presupun folosirea în mod direct a metodelor de RP. Economia de timp şi costuri se poate dovedi astfel substanțială din punct de vedere global.

10.3.7. Tehnici de RP

Datorită numărului mare de tehnici şi sisteme comerciale de RP existente pe piață, în următoarele paragrafe se vor prezenta foarte pe scurt câteva metode şi maşini mai des folosite pentru aceasta.

10.3.7.1. SLS (Selective Laser Sintering)

Este realizată prin mai multe procedee, astfel:

- *procedeul DTM.* A fost realizat de Carl Deckard şi Joe Beaman (University of Texas, Austin) în anul 1986 (fig. 10.38).

Aşa cum s-a arătăt într-un paragraf anterior, SLS începe cu generarea fişierului CAD. Acest fişier CAD trebuie convertit în formatul standard STL, care este acum suportat de majoritatea programelor de proiectare CAD. Sistemul SLS dispune de pachetul de programe DTMView care încarcă fişierul standard STL. Sistemul permite utilizatorului să seteze anumiți parametri ai procesului de realizare a prototipului.

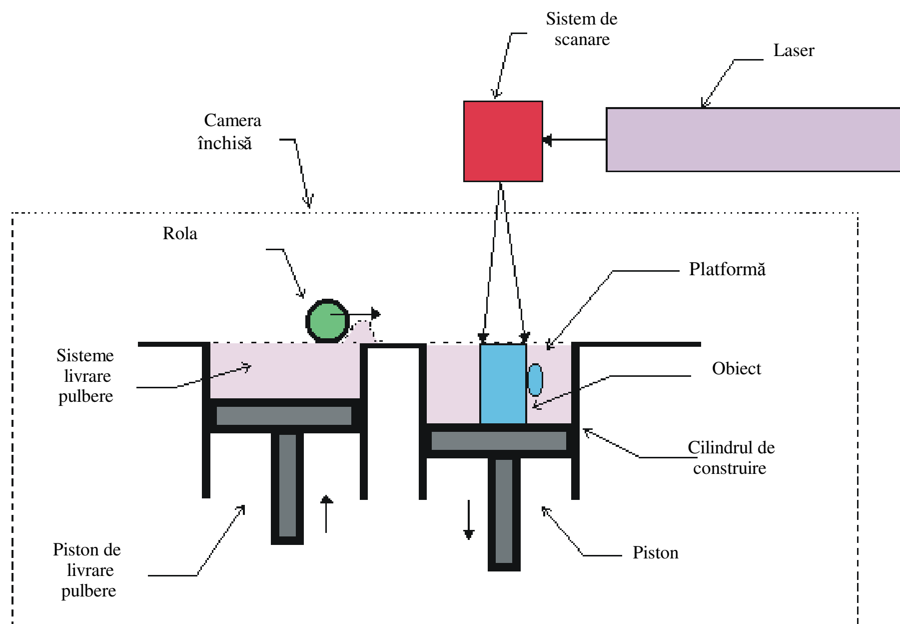


Fig. 10.38. Schema generală SLS.

Procesul de realizare începe prin depozitarea unui strat subțire de pulbere pe o platformă. Un laser cu CO_2 controlat de calculator scanează selectiv secțiunile prin obiect şi este proiectat pe platforma astfel pregătită cu pulbere. Pulberea încălzită va fi astfel fuzionată cu alte particule formând o masă solidă. Întensitatea fasciculului laser este modulată pentru a topi pulberea numai în ariile definite de geometrică de proiectare a obiectului. Camera de fabricație este închisă emertic şi menținută la o temperatură mai joasă decât punctul de topire al pulberii folosite. După terminarea scanării întregii secțiuni, platforma va fi apoi coborâtă în concordanță cu grosimea specificată a stratului. Apoi, un strat adițional de pulbere

este împrăştiat deasupra stratului precedent. Noul strat va fuziona cu stratul precedent. Straturi succesive de pulbere sunt depozitate unul peste celălalt şi, astfel, procesul este repetat până când prototipul este gata. Există o gamă largă de materiale brute disponibile pentru acest proces, ca de exemplu, materialele termoplastice (poliamida, policarbonaţii), nisipul, elastomerii, ceramica şi pulberile metalice.

SLS a fost comercializat în principal pentru verificarea proiectării conceptuale a unui nou produs şi pentru realizarea unor prototipe funcţionale (testarea acestora în regim real de funcţionare).

- *procedeul EOS* este similar cu cel al firmei DTM şi este realizat de compania germană EOS GmbH. Principala diferenţă dintre EOS şi DTM este dispozitivul de răspândire a pulberii. DTM foloseşte un mecanism cu role pentru a împrăştia stratul de pulbere în mod egal. Deoarece rezervorul cu pulbere este situat într-o parte a platformei şi partea cealaltă este folosită pentru colectarea materialului redundant, rolele trebuie să traverseze platforma de două ori. În contrast, în sistemele EOS, materialul este pus într-un container cu faţa în jos, astfel încât acesta traversează doar o singură dată platforma pe care se depozitează stratul de pulbere.

Acurateţea pieselor produse depinde în principal de dimensiunile particulelor de pulberi şi de raza fasciculului laser. Cu toate că prototipurile realizate prin SLS au o consistenţă mecanică satisfacătoare, în unele cazuri, suprafaţa rezultată a pieselor nu îndeplineşte toate aşteptările şi necesită prelucrări ulterioare. O comparaţie între caracteristicile celor două sisteme de RP este prezentată în tabelul 10.5.

Tabelul 10.5. *Comparaţie între caracteristicile sistemelor DTM 2500 şi EOSM 250*

Caracteristici	DTM 2500	EOS M250
Aplicaţii	Diverse prototipuri	Prototipuri tehnice
Tipul de laser	CO_2	CO_2
Putere laser	250 W	Min. 200 W
Diametru fasciculului	0,4 mm	0,45 mm
Viteza de scanare		Până la 3 m/s
Sistemul de pulbere	50% otel + 50% bronz	Amestec de oţel şi pulberi metalice cu punct de topire scăzut
Livrarea pulberii	role	Rezervor cu lamă
Volumul maxim		250mm ×250 mm ×185 mm
Grosimea minimă a straturilor		0,05-1 mm

10.3.7.2. SLA (Stereo-Lithography)

Este realizat prin mai multe procedee, astfel:

• *Procedeul 3D Systems*. Stereolitografia (SLA) se bazează pe folosirea unor polimeri fotoreactivi, de obicei unii care reacţionează la lumina ultravioletă sau laser, cu lungime de undă scurtă. Prin absorbirea de suficientă energie a

radiaţiilor, răşinile se solidifică (are loc procesul de polimerizare).

Produse de 3D Systems Corp., aparatele de SLA au fost primele sisteme de RP care au ajuns pe piaţă (1987). Ultimele modele de aparate SLA dispun de programe Microsoft Windows NT pentru operaţiile principale: 3D Lightyear pentru afişare şi poziţionare piesă, generare suport şi tăiere şi Buildstation pentru operarea maşinii SLA.

Materialele folosite pentru realizarea pieselor au fost la început bazate pe acrilaţi. În prezent se folosesc materiale epoxy care prezintă avantajul că sunt mai puţin toxice şi au proprietăţi mai bune faţă de acrilaţi.

SLA începe cu un model solid CAD. Acesta este apoi tranformat în formatul standard STL. Fisierul de lucru STL este tăiat în secţiuni orizontale, iar fiecare secţiune este salvată într-un fisier separat. Aceste fisiere sunt apoi „reunite" pentru crearea a 4 fişiere separate ce controlează maşina SLA (cu extensiile L, R,V şi PRM). Cel mai important fişier dintre cele patru este cel cu extensia V (Vector). Acesta conţine conturul pe care laserul îl va urma pentru tăierea formei piesei.

Prin luminarea selectivă a unei suprafeţe cu polimeri, se poate forma un strat al modelului. Pentru a realiza stratul următor, obiectul este înmuiat într-o cuvă cu polimeri. Paşii de construcţie se repetă până când piesa este gata. Apoi, excesul de răşină ce rămâne pe suprafeţele acesteia este spălat şi piesa este plasată într-o cameră cu lumină ultravioletă pentru procesarea finală a răşinii. Schema generală a unui astfel de sistem se prezintă în figura 10.39.

Sistemul de RP prin SLA al companiei 3D Systems este probabil cel mai performant de pe piaţă, oferind o rezoluţie cu o grosime a stratului de 0,0254 mm. Unul din principalele dezavantaje ale SLA este impactul asupra mediului de lucru, deoarece răşina proaspăt polimerizată este poluantă şi periculoasă pentru sănătate. Pentru curaţirea acesteia se folosesc solvenţi care cresc costurile şi temerile ecologiste şi de sănătate. Principalul avantaj al acestei metode este însă calitatea suprafeţelor prototipului, care este probabil cea mai bună dintre toate sistemelede RP.

• *Procedeul SOUP* (*Solid Object Ultraviolet Laser Plotting*). A fost dezvoltat de Mitsubish Corporation în Japonia şi este comercializat de CMET (Computer Modelling and Engineering Technology). Acest sistem foloseşte o tehnologie similară cu 3D Systems - un laser este folosit pentru construirea de modele într-o cuvă de răşini fotopolimerizabile.

• *Procedeul D-MEC.* Compania japoneză D-MEC a lansat propriile sisteme de RP cu SLA, numite SCS (Solid Creation Systems). Aceste sisteme folosesc lasere pe bază de HeCd sau ioni de argon cu raza fasciculului ajustabilă. Volumul modelelor care pot fi construite cu aceste sisteme poate ajunge până la 1 000 mm×800 mm×500 mm.

• *Procedeul Soliform.* A fost dezvoltat de DuPont Imaging şi comercializat începând cu anul 1989. Patentul aparţine companiei japoneze Teijin Seiki care se ocupă de comercializarea acestuia în Asia, în timp ce compania

DuPont se axează acum pe dezvoltarea de răşini fotopolimerice. Materialul folosit în acest caz este o răşina albă, cu proprietăţi similare cu cauciucul şi liconatul.

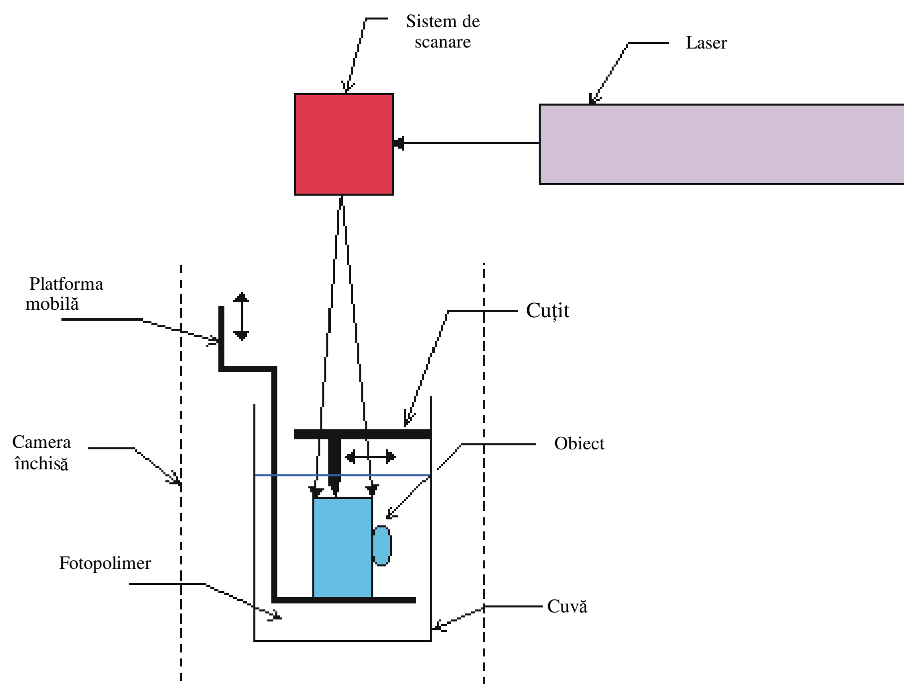


Fig. 10.39. Schema generală a SLA pentru 3D Systems.

• *Procedeul Light Sculpitng Inc.* Are la bază şi sistemul SLA, trăsătura distinctivă fiind aceea că întăreşte (polimerizează) toate straturile deodată, mărind astfel productivitatea. Sistemul este format dintr-o imprimantă industrială, o unitate de perforare, programe de calculator de creare secţiuni şi o sursă de radiaţii. Măştile create de programele de stratificare sunt folosite de imprimantă care le listează pe folii transparente. Imprimanta foloseşte toner convenţional. Foliile sunt stocate în ordinea corespunzătoare, iar pe marginea acestora, un pistol depozitează polimer lichid. Sursa de lumină inundă apoi fotopolimerul pentru 2-3 secunde. Imediat cum iradiaţia se opreşte, stratul de polimer se întăreşte şi se detaşează de pe foliile de plastic.

10.3.7.3. SGC (Solid Ground Curing)

Compania Cubital a dezvoltat o variantă de stereolitografie numită SGC (fig. 10.40). Acest proces constă în următorii paşi:

- un calculator analizează un fişier CAD şi secţionează obiectul respectiv

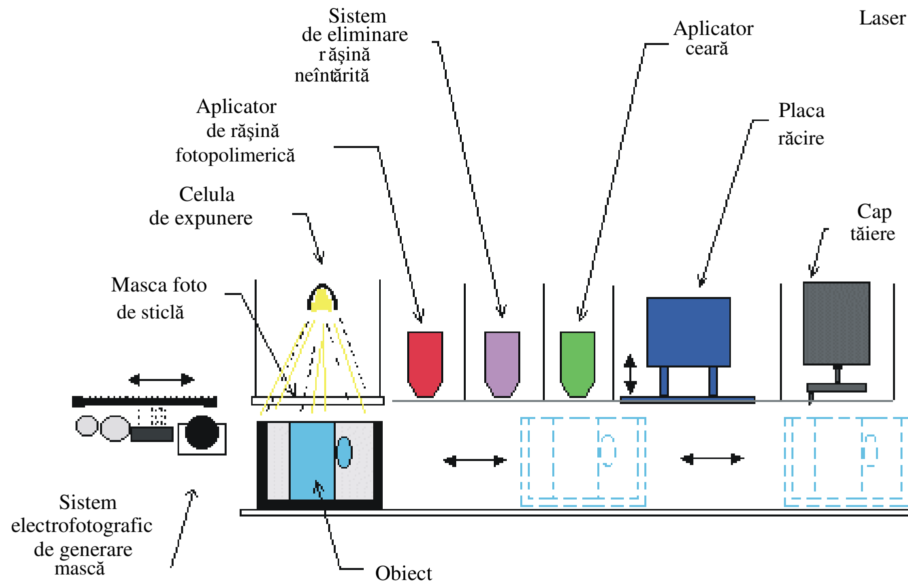


Fig. 10.40. Schema generală a procesului SGC.

în straturi subțiri de grosime specificată;

- imaginea stratului curent este „tipărită" pe o sticlă foto (mască) folosind un proces electrostatic similar cu tipărirea laser. Partea stratului care reprezintă material solid este lasată transparentă;
- un strat subțire de fotopolimer este imprăştiat în mod egal peste suprafața de lucru;
- o lumină ultravioletă este proiectată prin mască peste noul strat de polimer lichid;
- răşina expusă, corespunzătoare părții transparente a măştii, polimerizează şi se întăreşte;
- răşina neafectată, care este încă în stare lichidă, este aspirată înapoi în rezervor;
- ceara lichidă este imprăştiată peste suprafața de lucru, umplând cavitățile ocupate mai înainte de polimerul lichid neîntărit;
- o placă de răcire întăreşte ceara; în acest moment întregul strat, ceara şi polimerul, este solid;
- stratul este turnat până la grosimea dorită;
- procesul se repetă pentru următorul strat, fiecare strat aderând la cel anterior, până când obiectul este terminat;
- ceara este îndepărtată prin topire sau spălare şi prototipul este gata.

Materialele folosite în acest proces sunt răşina polimerică, ceara şi tonerul. Prin aceasta metodă, se pot realiza modele solide de 10-15 ori mai rapid decât cu alte metode de RP. Avantajul acestei metode este crearea unor modele cu calităţi crescute şi la preturi competitive.

10.3.7.4. LM (Laminated Manufacturing)

Principiul acestui procedeu constă în imbinarea secvenţială a foliilor de material (ca de exemplu: hârtie, plastic sau materiale compozite) una peste cealaltă. Există trei tehnologii diferite în funcţie de metoda aplicată pentru tăierea contururilor şi de materialele folosite:

- Tehnologia *Laminated-Object Manufacturing (LOM) – Helisys.* Maşina LOM, comercializată de firma Helisys, generează o piesă prin laminare şi tăiere cu laser a materialelor sub formă de folii (fig. 10.41). Materialele puse la dispoziţia operatorului sunt hârtia, plasticul sau materialele compozite. Foliile sunt laminate într-un bloc solid cu ajutorul unei îmbrăcăminţi termice adezive.

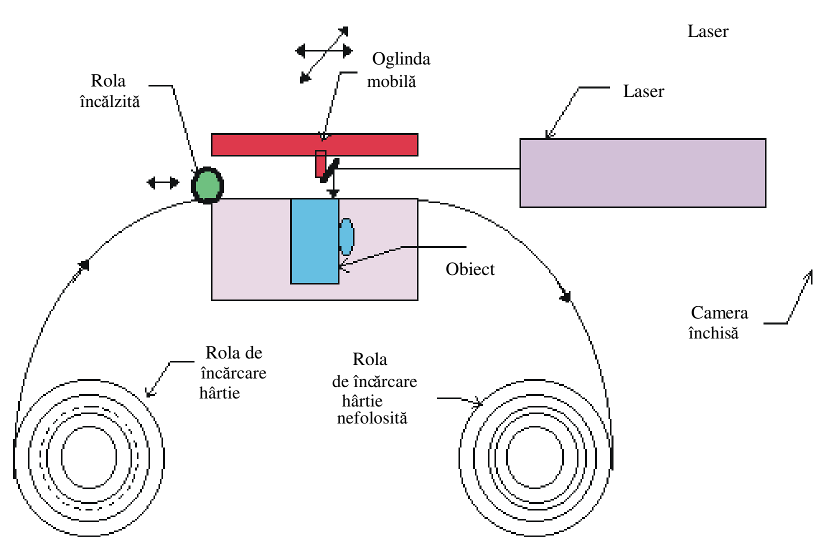


Fig. 10.41. Metoda LOM.

Sistemul LOM operează cu ajutorul unui calculator personal. Acesta pune la dispoziţia operatorului progamul LOM Slice care controlează procesul de RP.

Şi acest procedeu de RP începe cu fişierul standard STL care este încărcat de LOM Slice şi afişat pe ecranul calculatorului. Operatorul are acum posibilitatea să controleze parametrii procesului de RP: puterea laserului, viteza de încălzire a materialului, marginea de avansare a materialului etc. O dată aceste valori întroduse, LOM este gata să înceapă procesul de realizare a prototipului.

Procesul începe cu un model 3D care va fi tăiat în secțiuni 2D. Grosimea acestor secțiuni trebuie să coincidă cu grosimea materialului folosit la laminarea prototipului. O rolă încălzită se mişcă de-a lungul suprafeței foliei, îmbinând-o cu restul straturilor. Un fascicul de laser cu CO_2 taie profilul secțiunii în folia curentă, dar excesul de material nu este îndepărtat, având rolul de susținere a celorlalte straturi. Procesul se repetă apoi pentru toate straturile până când piesa este gata. Excesul de material se îndepărtează şi piesa este gata.

Avantajul principal al metodei LOM este acela că permite producerea unor modele pe scară largă folosind material foarte ieftin (de obicei hârtie). De asemenea este o metodă ecologică şi s-a dovedit a nu avea consecințe negative de sănătate. Ca dezavantaj se menționează necesitatea evacuării gazelor rezultate din arderea materialului.

Produsul final LOM are o duritate relativ bună din punct de vedere al manipulării acestuia. De aceea, ele pot fi folosite pentru diverse aplicații, de la vizualizarea proiectului şi până la testarea funcțională a prototipurilor (folosirea directă a produsului rezultat prin metoda LOM).

- Tehnologia *KIRA*.Corporația japoneză Kira foloseşte o tehnologie de laminare cu hârtie pentru a realiza modele 3D. Spre deosebire de sistemul Helysis, în locul unui fascicul laser care taie conturul unui strat, tonerul este presărat pe contur, aşa cum este îndicat de modelul CAD. Tonerul este topit la 175^0C şi folia respectivă (hârtia) este îmbinată cu stiva de hârtie de dedesubt. Apoi, un cutit controlat de calculator care lucrează în acelaşi mod ca un cutter-plotter taie conturul stratului respectiv, lăsând însă materialul în exces pentru suportul straturilor rămase de lipit. Piesele astfel obținute pot fi folosite petru testarea proiectării sau a funcționării.

- Tehnologia *SDC JP 5 System* (JP-5). A fost realizată de Schroff Development Corporation. Este poate unul din cele mai simple dintre toate procesele de RP. Sistemul JP-5 este compus dintr-un plotter care foloseşte în loc de capat de imprimare un cuțit, şi în loc de hârtie normală, o hârtie autoadezivă. Şi stemul JP-5 poate fi operat de pe un calculator personal cu un minim de cerințe (486 cu 8M RAM). Plotterul JP-5 este conectat la calculator prin intermediul unui port serial. Programul care controlează funcționarea acestui sistem este inclus într-un pachet de proiectare CAD – Silver Screen. Sistemul JP-5 acceptă formatul standard STL dar şi formatul Silver Screen pentru fişierele CAD. Plotterul JP-5 foloseşte un cuțit din oțel inoxidabil. Sistemul permite cuțitului să realizeze mişcări de rotație. De asemenea adâncimea de tăiere a cuțitului poate fi specificată. Plotterul mişcă hârtia înainte şi înapoi pe directia *y*, în timp ce cuțitul este controlat pe directia *x*.

Ca orice ciclu RP, JP-5 începe cu un fişier CAD care poate fi realizat fie cu pachetul de proiectare Silver Screen, fie cu orice alt sistem de proiectare CAD care exportă în formatul standard STL. Fişierul CAD trebuie convertit din formatul în trei dimensiuni (3D) în straturi orizontale în două dimensiuni. Cu alte cuvinte,

modelul 3D al produsului ce trebuie realizat este tăiat în straturi în 2D de grosimea hârtiei autoadezive folosite pentru realizare. Fişierul de lucru astfel obținut este transferat plotterului pentru prelucrare. Plotterul acceptă instrucțiuni de la calculator pentru fiecare strat în parte, permițând operatorului uman să încarce hârtia necesară pentru fiecare strat. Toate straturile sunt tăiate unul câte unul. Aceste straturi sunt apoi asamblate manual. Modelul astfel terminat poate fi învelit într-un material solid pentru a-i asigura o duritate ridicată. Această metodă este probabil cea mai ieftină şi se foloseşte, de obicei, ca un mijloc educațional.

10.3.7.5. Printare 3D (3DP – 3D printing)

3DP este un proces de RP dezvoltat la MIT de prof. Emmanuel Sachs şi Michael Cima. La acest procedeu, un cap de imprimantă cu jet este folosit pentru injectarea unei substanțe de îmbinare într-o pulbere metalică, corespunzător modelului CAD (fig. 10.42). Ciclul de construire începe prin împrăştierea unui strat de pulbere peste o platformă. Un cap de printare traversează platforma şi depozitează lichidul de îmbinare corespunzător stratului curent. Platforma este apoi coborâtă şi un nou strat de substanță de îmbinare este depozitată peste primul strat. Procesul se repetă până când întregul volum al obiectului este gata. În prezent, piese metalice şi din ceramică pot fi construite prin 3DP.

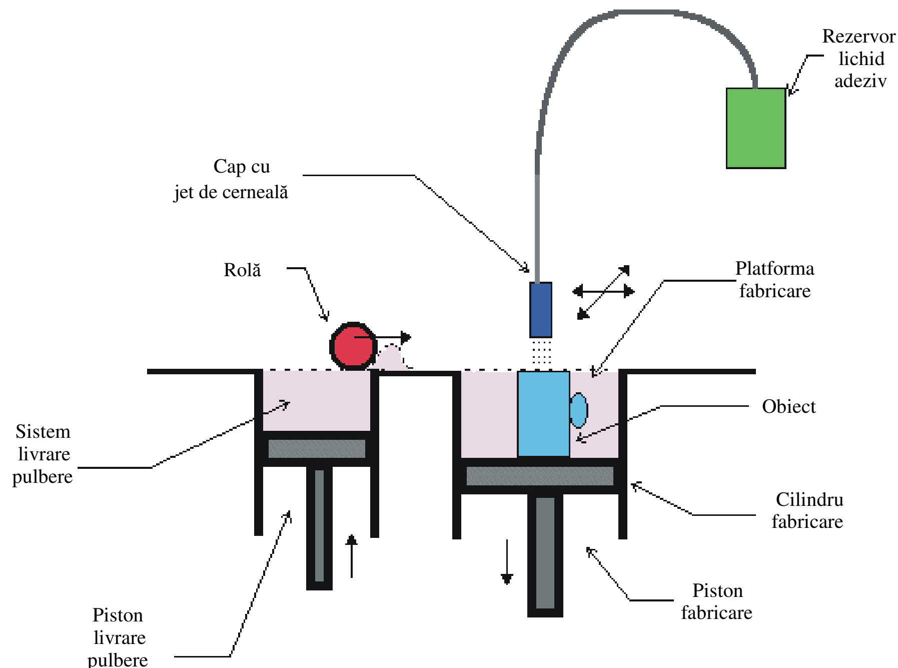


Fig. 10.42. Principiul metodei 3DP.

Prototipul astfel obținut necesită operațiuni de post-procesare. În primul rând, pulberea în exces trebuie să fie înlăturată, iar această operație se realizează cu ajutorul unui sistem de suflare cu aer şi aspirator. O dată pulberea îndepartată, piesa este aşezată într-un cuptor şi încălzită până la o temperatură mai ridicată decât cea de topire a cerii de infiltrare (folosită pentru finisarea piesei). Imediat după încălzire, piesa este imersată într-o cuvă cu ceară topită pentru câteva secunde. După uscare procesul de realizare a piesei este complet.

Principala aplicație a 3DP este aceea a verificării proiectării prototipurilor. Materialele non-toxice folosite permit manevrarea prototipurilor imediat după fabricare.

Avantajul 3DP este viteza cu care se pot realiza prototipurile, iar dezavantajul este acela că suprafețele acesteia au o rugozitate mare, iar ca orice maşină care foloseşte ca material pulberea, necesită operații riguroase de curățire.

10.3.7.6. Imprimare cu jet

Spre deosebire de 3DP, în loc de injectare a unui material liant într-o bază de pulbere, un material cu punct de topire scăzut (bazat pe ceară) este topit şi particule din acesta sunt imprimate printr-un cap controlat sau un cap de printare cu jet pentru a forma o masă uniformă şi solidă; se folosesc mai multe tehnologii:

- Tehnologia *MM (Model Maker).* Sistemele companiei Sanders – Model Maker (MM) se bazează pe tehnologia de imprimare cu jet de cerneală. Această metodă presupune contruirea strat cu strat a prototipului de realizat, în mod similar cu alte metode de RP.

Sistemele MM folosesc programele MW, realizate de Sanders Prototype Inc. pentru manipularea fişierelor de lucru în format STL. MW converteşte standardul STL în limbaj care poate fi înteles de maşină MM. Materialele folosite de această metodă sunt în general materiale cu un punct de topire scăzut, atât pentru materialul de suport, cât şi pentru materialul pentru modelare. Există rezervoare separate pentru încălzirea materialului suport şi pentru cel de modelare. Există de asemenea două capete de printare, unul pentru construirea modelului şi celălalt pentru construirea suportului acestuia. Suportul depinde de geometria piesei şi poate fi realizat doar pe anumite părți sau pe întregul acesteia. După ce ceara topită este depozitată, o rolă este folosită pentru uniformizarea suprafeței şi pentru a se asigura un strat orizontal pentru construirea următorului strat. De aceea, MM poate contrui piese prin straturi de grosimi diferite, reducând în acest fel timpul de procesare şi caracteristica de „scară” a modelului.

Sistemele MM şi-au dovedit aplicabilitatea în cazul realizării unor piese de dimensiuni mici (de exemplu pentru industria de bijuterii sau industria medicală). Când este însă vorba de prototipuri de dimensiuni mari (de un volum mai mare ca al unui cub de lucru cu latura de 7,5 cm) viteza de construire este foarte mică;

- Tehnologia *3D Systems Thermo-Jet.* Sistemele *Thermo-Jet* lucrează pe principiul unei imprimante cu jet de cerneală şi se pretează instalării şi operării

într-un birou.

Fiecare strat este „imprimat” folosind o tehnologie puțin modificată de cea a printării cu jet de cerneală, tehnologie numită *Multi-Jet Modelling* (MJM), cu o rezoluție de 300 dpi. Există o oarecare similitudine cu maşinile 3DP. Diferența constă în faptul că materialul de modelat este injectat direct de capul de imprimare în loc de folosire a unei pulberi şi a unui liant de îmbinare. Modelul astfel obținut are o finisare foarte bună a suprafețelor. MJM este ideal pentru realizarea unor modele de proiectare sau a mostrelor, într-un mod rapid şi fără costuri de producție ridicate. De asemenea MJM permite proiectantilor să detecteze eventuale erori de proiectare sau să evalueze mai multe alternative de proiectare.

10.3.7.7. Ballistic Particle Manufacturing (BPM)

Un system BPM reprezintă o variantă compactă de RP care conține unitățile hardware ca şi programele necesare. Sistemul este controlat de un calculator cu caracteristici minime (486 PC) şi dispune de un modem şi un port serial pentru transferul de fişiere de lucru.

Sistemul BPM foloseşte tehnici bazate pe jeturi de cerneală sau de producție prin depunere de „picături” sau particule (DBM – *Droplet Based Manufacturing*). Prototipul este realizat prin depunere de micro-particule de ceară topită dintr-un cap deplasabil pe o bază staționară. Baza este coborâtă şi un alt strat este depus, procesul continuând până un obiect 3D este realizat.

Figura 10.43 prezintă aceasta metodă, aşa cum a fost implementată de Sanders Prototypes.

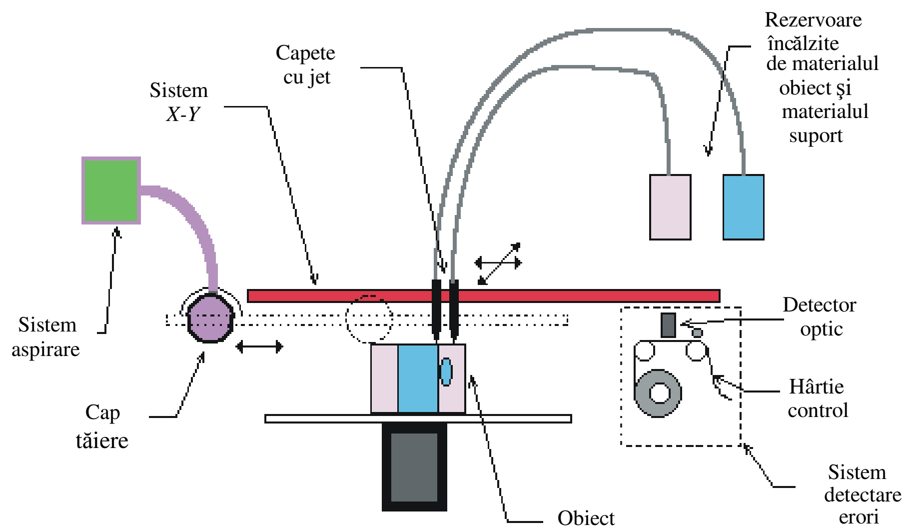


Fig. 10.43. Schema generală a BPM.

Materialele lichide de construcţie şi suport al obiectului sunt păstrate într-un rezervor, la temeperaturi corespunzătoare. Lichidele sunt livrate capetelor cu jet prin tuburi izolate din punct de vedere termic. Capetele cu jet depun mici picături de material în timp ce sunt mutate dintr-o parte în cealaltă, în funcţie de geometria stratului curent. Capetele sunt controlate în aşa fel încât picăturile de material sunt depozitate numai unde este necesar. Aceste picături se solidifică în mod rapid. După ce un întreg strat este solidificat, un cap de tăiere asigură grosimea uniformă a acestuia. Particulele în exces sunt aspirate şi păstrate într-un filtru. Operaţia capetelor cu jet este verificată strat cu strat printr-un sistem optic de detectare a erorilor. Dacă totul este în regulă, platforma pe care se construieste obiectul este coborâtă şi construcţia următorului strat poate începe. Piesele realizate prin BPM nu pot fi finisate (post procesate) din cauza fragilităţii sporite a acestora. Ele pot doar fi vopsite cu o vopsea pe bază de apă. O dată obiectul construit, materialul suport (ceara) este fie topit, fie spălat. Această metodă este capabilă de a realiza prototipuri de calitate ridicată, dar cu o viteza redusă. De aceea, există un echilibru între timpul de fabricaţie şi calitatea pieselor.

Din cauza materialului moale folosit, tehnologia BPM este folosită în general pentru vizualizarea unui nou produs şi nu pentru realizarea unor componente funcţionale. Avantajul principal al acestei metode este faptul că permite realizarea unor piese care necesită post-procesare minimă din punct de vedere toxic (materialul folosit este ceara, deci un material ecologic). De asemenea, BPM este o metodă ce necesită un consum redus de energie, care împreună cu tipul materialului folosit asigură realizarea de prototipuri cu un cost minim.

10.3.7.8. Fused Deposition Modelling (FDM)

FDM presupune aşezarea de straturi prin extrudare în aşa fel încât noile straturi să fuzioneze cu straturile anterioare înainte de solidificare (fig. 10.44).

FDM este reprezentată de Stratasys, Minneapolis, Minnesota. Maşina FDM se aseamănă cu un plotter, cu deosebirea că în loc de cerneală, acest sistem depune plastic sau ceară încălzită, construind astfel un model prin laminări succesive.

Maşinile FDM folosesc programele QuickSlice (QS) produse de Stratasys pentru manipularea şi pregătirea fişierelor de lucru STL. Aceste programe pot fi folosite pe diferite platforme de la UNIX până la PC.

Materialele folosite de FDM sunt: ceară, acrylonitril butadiene styrene (ABS) şi ABS termoplastic. Acestea sunt păstrate sub formă de filamente rulate pe bobine speciale.

Capul de extrudare (de depunere) este o componentă cheie pentru sistemul FDM. Acesta este o componentă compactă care poate fi detaşată foarte uşor în vederea curăţirii sau pentru schimbarea materialului de lucru. Capul de extrudare este compus din următoarele elemente (fig. 10.45):

- *blocurile de alimentare* a capului cu materialul de depunere; acestea sunt

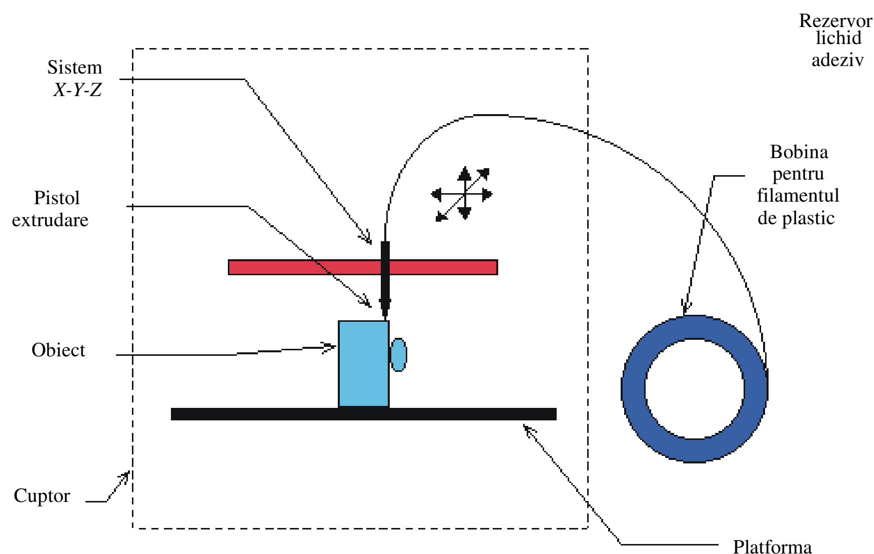


Fig. 10.44. Schema generală FDM.

controlate cu precizie de calculator;

- *camera de încălzire* sau cuptorul, care are rolul de a asigura topirea materialului. Forma cuptorului este aceea a unui cot de 90 de grade învelit într-un element de încălzire, care asigură de asemenea schimbarea direcţiei de curgere a materialului, în aşa fel încât aceasta se face pe verticală. Elementul de încălzire este controlat electronic, senzorii de temperatură prezenţi având rolul de a asigura o temperatură constantă.

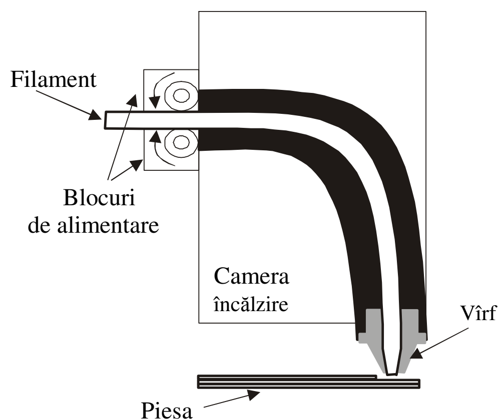


Fig. 10.45. Capul de extrudare.

- *vârful de extrudare*, care are rolul de a reduce fluxul de material pentru o mai bună modelare. El este de asemenea încălzit de camera de încălzire la o temperatură mai mare decât temperatura de topire a materialul de depunere.

Ca orice proces RP şi FDM începe cu convertirea fişierului STL într-un format care poate fi înţeles de maşina de RP, proces realizat de programul QS.

Operatorul poate selecta grosimea straturilor şi materialul folosit pentru procesare. După ce piesa a fost orientată în mod optim pentru realizare, QS trece la „tăierea” acesteia în straturi subţiri (de grosime între 0,0125 cm şi 0,04 cm). Programul QS permite utilizatorului să vadă în timp real fiecare strat şi să opereze modificări asupra acestuia dacă este necesar.

Un filament de 0,75 mm de material termoplastic este întrodus într-un pistol încălzit la o temperatură mai mare decât temperatura de topire al acestuia. Materialul se solidifică imediat ce este depus, aderând la materialul adiacent şi astfel formând piesa respectivă. Sistemul dispune de două tipuri de pistoale încălzite: unul pentru materialul necesar realizării obiectului şi altul pentru materialul necesar suportului acestuia din urmă. O dată piesa terminată, cele două materiale sunt uşor de separat. Cu acestă metodă este posibilă, de asemenea, construirea unor modele din mai multe materiale.

Aplicaţii tipice ale FDM sunt:

- FDM asigură o metodă simplă de realizare a unor prototipuri pentru verificarea vizuală a proiectării;

- datorită rigidităţii materialului folosit (ABS), piesele obţinute prin FDM pot fi folosite în mod direct. De exemplu, FDM poate realiza piese funcţionale pentru ansamble de timonerie, modele pentru tunele de vânt etc., permiţând astfel testarea prototipurilor în condiţii reale de funcţionare.

Dintre avantajele FDM se pot menţiona:

- duritatea şi caracteristicile termice ale materialului din care se realizează piesele asigură manipularea acestora în diverse medii;

- sistemul este fără lasere, deci mai ieftin;

- asigură o post-procesare simplă şi minimală (cu noul suport solubil în apă pe care se poate construi prototipul).

Dezavantajul major al FDM este timpul relativ mare pentru realizarea unei piese în comparaţie cu metodele bazate pe laser. De asemenea, fiecare strat trebuie să aibă un punct fizic de depunere de start şi de stop, ceea ce limitează caracteristicile geometrice ale pieselor ce pot fi realizate prin aceasta metodă.

10.3.7.9. Shape Deposition Manufacturing (SDM)

SDM este un proces de construire stratificată ce implică o combinare iterativă de adăugare sau îndepartare de material şi este în curs de cercetare la Stanford University (USA). Piesele sunt construite dintr-un material de „sacrificiu”, care încorsetează fiecare strat, în scopul realizării unei platforme suport pentru straturile următoare sau pentru caracteristicile geometrice în consolă.

Spre deosebire de toate celelalte tehnici de RP care descompun modelul în straturi subţiri 2½ D, SDM reţine reprezentarea 3D a piesei în aşa fel încât aceasta este construită fără caracteristica de „scară”. Depunerea de material este realizată pe bază de tehnici de sudare cu laser sau plasmă. O altă metodă este aceea a folosirii răşinilor UV sau a presării pulberilor la cald. După depozitarea unui strat, acestuia îi este dată forma folosind maşini convenţionale cu CN.

Metodele de RP prezentate anterior, împreună cu producătorul maşinilor respective şi a materialelor puse la dispoziţia utilizatorilor sunt prezentate sumar în tabelul 10.6.

Tabelul 10.6. *Metode şi caracteristici de RP*

Technologia RP	Producătorul	Materialele
Selective laser sintering (SLS)	DTM Corporation EOS	Ceară, termoplastic, pulberi metalice
Stereolitpgraphy (SLA)	3D Systems CMET – SOUP Solid Creation Systems- D-MEC DuPont Imaging – Soliform Light Sculpting	Răşini epoxy, răşini fotopolimerizabile
Solid Ground Curing (SGC)	Cubital	Răşină polimerică, ceară
Laminated Object Manufacturing (LOM)	Helisys KIRA Schroff Development Corp - JP5	Hârtie, plastic, materiale compozite
3D printing (3DP)	MIT, Solingen	Metale, ceramică, pulberi
Imprimare cu jet Model Maker (MM)	Sanders Prototype Inc 3D Systems - Thermojet	Ceară
Ballistic Particle Manufacturing (BPM)	Sanders Prototype Înc.	Ceară
Fused Deposition Modelling (FDM)	Stratasys Sanders Prototype Inc.	Platic, ceară, termoplastic
Shape Deposition Manufacturing (SDM)	Stanford University, CA, USA	Răşini UV, ceară, pulberi

10.3.8. Viitorul tehnologiei de RP

Atâta timp cât va exista competitivitate în industrie, va exista şi nevoia de a reduce timpii şi costurile de producţie în acelaşi timp cu realizarea de produse de înaltă calitate. Dintre motivele care vor îndrepta din ce în ce mai mult dezvoltarea tehnologică către folosirea metodelor RP se pot aminti:

- reducerea timpului şi a costului de dezvoltare a unui nou produs;
- reducerea timpului necesar ciclului de producţie;
- reducerea costului de realizare a liniiilor sau sculelor necesare producerii unui nou produs, în vederea realizării unor loturi mici de produse.

Există deja ramuri ale industriei, în special, cele legate de vânzări sezoniere care folosesc din ce în ce mai mult tehnologiile de RP. Se pot menţiona industria de jucării, industria mecanicii fine şi industria bunurilor de larg consum. Cu ajutorul RP aceasta poate testa prototipurile unor noi jucării înainte de fabricarea în masă a acestora. De asemenea, fabricarea unui ceas de mână „la modă” implică dezvoltarea unui prototip funcţional rapid şi cu costuri scăzute. În general, cu cât timpul de dezvoltare al unui nou produs este mai mic, cu atât intrarea pe piaţă a acestuia este mai rapidă şi de aceea se poate ţine cont de preferinţele consumatorilor în timp real. Reducerea timpului de realizare este importantă şi pentru industria de automobile, care încearcă să ţină pasul cu preferinţele foarte schimbătoare ale consumatorilor.

10.4. PLANIFICAREA ASISTATĂ DE CALCULATOR

Planificarea muncii urmăreşte etapă cu etapă transformarea produselor sau pieselor din starea iniţială brută în starea finisată. Punctul de plecare poate fi un singur material sau, în cazul unor operaţii de asamblare, părţi componente. Orarul muncii conţine secvenţa de operaţii pentru producerea unei părţi, alocarea echipamentelor pentru operaţii, specificarea timpilor standard şi a grupelor de salarii. Bazele planificării muncii sunt specificaţiile tehnice şi geometrice. Specificaţiile geometrice sunt preluate din schiţele produse de departamentul de proiectare. Aceste schiţe pot, de asemenea, să conţină şi informaţii tehnice, ca de exemplu: proprietăţile materialelor, toleranţele, proprietăţile suprafeţelor părţilor componente etc. În unele cazuri, însă, pregătirea informaţiilor tehnice este parte integrantă a procesului de planificare a muncii. Facturile materialelor sunt, de asemenea, importante pentru documentele de planificare a muncii. CAPP trebuie să facă distincţia între planificarea muncii pentru procese convenţionale de producţie sau pentru procese de producţie comandate de calculator (de exemplu maşini cu CN). În ultimul caz, planificarea muncii va fi înlocuită de programele de CN.

10.4.1. Planificarea muncii pentru procesele de producţie convenţionale

Pentru procese convenţionale de producţie, un orar al muncii este creat aşa cum se poate vedea în figura 10.46. Împreună cu datele de proiectare, schiţe şi facturi de materiale, este necesar şi accesul la alte surse de informaţii din aria producţiei, aşa cum se poate vedea în figura 10.47.

Prin căutarea unor părţi componente similare în bazele de date, orarele de muncă pot fi create prin accesarea altor orarii standard de muncă care conţin practic aceleaşi operaţii de bază, trebuind doar să fie uşor modificate. Orare de bază tipice pentru diverse părţi componente pot de asemenea să fie folosite ca puncte de plecare pentru crearea unui nou program de lucru. Pentru alegerea

materialelor necesare, se face acces la cataloage de materiale care conțin proprietățile fizice ale acestora (de obicei, stocate electronic în baze de date) şi se aplică metoda valorilor optime. Alegerea maşinii se face folosind referințele unui grup de maşini şi a sculelor de prelucrare pe care acestea le dețin.

Plan de producție

Piesa : Ac256 Descriere: .... Cantitate:........... Timp de lucru: ....

1. Operația		Frezare
	Grupul de echipamente	Ec5
	Maşina unealtă	W5
	Materiale	M32
2. Operația		Aşchiere
	Grupul de echipamente	Ec7
	Maşina unealtă	T3
	Materiale	M42
	Componente	P05

Fig. 10.46. Conținutul unui program de lucru.

Programele de lucru sunt făcute prin planificarea proceselor. Aceasta este, de obicei, centralizată la nivelul companiei/fabricii. Uneori, în cazul unor grupuri de companii, planificarea se face la nivel central pentru mai mult de o fabrică.

10.4.2. Programul de lucru pentru maşini cu CN

Unitățile de producție controlate de calculator sunt maşini-unelte în care operațiile necesare producției sunt traduse în instructiuni de program calculator. Spre deosebire de maşinile convenționale de producție, care sunt controlate de operatorii umani pe baza informațiilor existente în documentele de producție (programul de lucru şi schițele de proiectare), într-o maşină cu CN aceste funcții sunt realizate de programe de calculator. Deci, programele de calculator preiau funcțiile de colectare informații despre programul de lucru şi schițele de proiectare şi le transformă în măsuri concrete de control. De aceea, un program CN poate fi văzut ca un program de lucru detaliat, care depăşeşte granița colectării şi stocării datelor pentru a încorpora instrucțiuni funcționale (de prelucrare). Baza de date folosită pentru programarea maşinilor cu CN este similară cu cea a planificării manuale a producției. Informațiile de bază necesare constau în date geometrice şi tehnologice. Un exemplu de program de CN este prezentat în tabelul 10.7.

Specificația inițială a părților componente	Inventarul de materiale; Tabele de specificații: de exemplu, măsurarea diametrului unei operații de găurire
Secvența și ordinea operațiilor	Piese echivalente; Secvența de lucru echivalentă în program de lucru echivalent; Program de lucru standard
Alegerea echipamentelor	Catalog de mașini-unelte
Scule echivalente	Catalog cu detalii despre - scule; - dispozitive; - verificatoare.
Alegerea unor dispozitive auxiliare de producție	Nomograme; Grafice; Timpi standard

Fig. 10.47. Planificarea datelor pentru programul de lucru.

Tabelul 10.7. *Exemplu de program de CN*

PARTNO/D-AXLE MACHIN/PP1 MACHIN/ZEISI G MACHDT/30.120.1.3.5.3000.0.8.20	Declarații generale
CONTUR/BLANCO BEGIN 0.0 YLARGE.PLAN.0 RGT/DIA.100 RGT/PLAN.330 RGT/DIA.0 TERMCO	Descrierea materialelor brute
SURFIN/FIN CONTUR/PARTCO L1=LÎNE/50.25.90.30 MO.M1.BEGIN/20.0.YLARGE.PLAN.20.BEVEL.3.ROUGH RGT/DIA.40.ROUND.2 LFT/PLAN.50 RGT/L1……………… M3.RGT/PLAN.310.ROUGH M4.RGT/DIA.0 TERMCO	Descrierea părților componente

Tabelul 10.7. (*continuare*)

PART/MATERL.203 CSRAT/60 CLDIST/2 PLANE=TURN/SO.CROSS.TOOL.100.1.SETANG.180.ROUGH SCHL1=CONT/SO.TOOL.200.2.SETANG.110.FIN.OSETNO.7	Definiții tehnologice
CHUCK/11.50.200.300.104.50 CLAMP/50 COOLNT/ON WORK/PLANE CUTLOC/BEHIND CUT/M3.TO.M4………… CUT/M1.TO.M2 WORK/NOMORE FIN	Instrucțiuni de control

10.4.3. Planificarea automatizată a proceselor de producție

Datorită problemelor ce pot apărea în cazul planificării proceselor de producție, experiența umană, raționamentul şi logica acestora au fost încorporate în programe de calculator. Aceste programe, bazându-se pe caracteristicile piesei ce trebuie produse, generează secvența de operații pentru producție. Un sistem CAPP are avantajul că reduce rutina funcționarilor umani şi a inginerilor de producție, realizându-se astfel importante economii de resurse. În acelaşi timp, numărul de erori este menținut la un nivel minim. Există două alternative pentru CAPP:

1. CAPP *cu refolosire* (*CAPPR*). În această metodă, piesele produse într-o fabrică sau uzină sunt grupate în clase în funcție de caracteristicile lor de producție. Un proces standard este stabilit pentru fiecare clasă. Aceste planuri standard sunt stocate în memoria calculatorului şi sunt refolosite când un produs din respectiva clasă trebuie fabricat. Pentru organizarea fişierelor este necesară o formă de clasificare sau de codare a produselor sau pieselor din respectiva clasă. În figura 10.48 este prezentat modul de lucru al CAPPR. În prima fază, operatorul uman introduce codul produsului/piesei ce se vrea fabricată. Sistemul CAPPR caută clasa de care aparține respectiva piesă, iar programele standard de planificare sunt găsite, editate pentru a se conforma cu noile specificații, şi planul de producție este generat. Dacă codul respectivului produs nu este găsit, atunci se trece la căutarea unor produse cu caracteristici similare, şi procesul continuă ca mai sus.

2. CAPP *generativ* (*CAPPG*). CAPPG presupune crearea automată cu ajutorul calculatorului a unui plan de producție pornind de la zero şi fără intervenție umană. Intrările sistemului CAPPG sunt informații detaliate despre produsul ce trebuie realizat. Într-un caz ideal, planul de producție pentru orice piesă sau produs poate fi generat automat (CAPPG universal). În practică însă, sistemele CAPPG curente sunt dezvoltate (specializate) pe anumite procese de producție.

Folosirea sistemelor CAPP oferă o serie de avantaje față de planificare

manuală a producției şi anume:

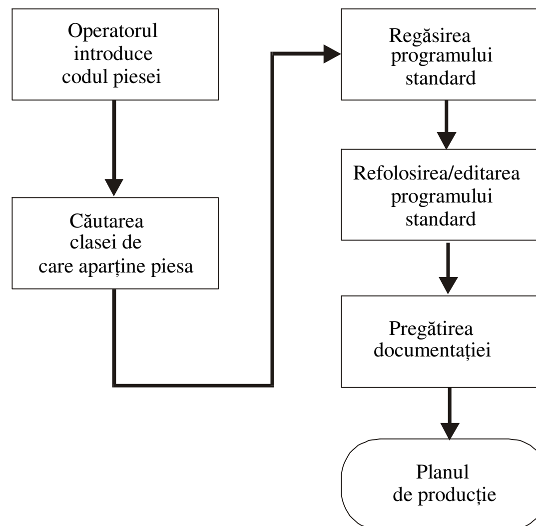


Fig. 10.48. Procesul CAPPR.

- productivitate crescută a planificării; folosind CAPP, funcționarii şi inginerii de producție nu sunt la fel de intens solicitați ca în cazul planificării manuale, iar accesul la planurile de producție este imediat, de aceea este obținută o productivitate crescută a procesului de planificare;

- planuri de producție mai clare; datorită faptului că procesul este controlat de calculator, planurile de producție generate sunt de cele multe ori mai clare şi mai uşor de citit decât cele realizate manual;

- integrarea CAPP cu alte programe sau aplicatii de producție; sistemul CAPP poate fi proiectat în aşa fel încât să opereze în conjuncție cu alte pachete de programe pentru automatizarea altor etape de producție consumatoare de timp;

- reducerea timpilor globali de producție; folosind un sistem CAPP, planurile de producție sunt în general realizate mult mai rapid decât în cazul realizării manuale a acestora. De aceea, timpul global de producție poate scădea considerabil.

10.5. CONTROLUL CALITĂȚII ASISTATE DE CALCULATOR

Controlul calității se realizează în mod tradițional folosind metode manuale de inspecție şi proceduri statistice de prelevare probe. Inspecția manuală este în general o procedură mare consumatoare de timp care presupune o muncă precisă,

dar monotonă. Adesea presupune şi mutarea pieselor din locul de producție în locuri speciale de inspecție, conducând la întârzieri care pot produce blocaje în procesul de producție.

Implicit, în procesul statistic de prelevare probe, se asumă riscul ca unele produse cu defecțiuni să scape inspecției. De aceea, controlul statistic al calității tinde să garanteze calitatea produselor cu o marjă de eroare sau procentaj de piese defecte.

Există şi un alt aspect negativ al controlului tradițional al calității. Acest proces se face după ce piesele au fost deja produse, ceea ce presupune costuri de producție ridicate.

De aceea, există câteva motive de ordin economic, social şi tehnologic pentru modernizarea procesului de control al calității. Factorul economic include costurile mari ale procesului de inspecție şi întârzierile pe care acesta le poate produce în procesul de producție. Factorul social include cererea tot mai mare a clienților de produse „perfecte”, ca şi regulamentele şi standardele impuse de guvernul unei țări pentru a asigura protecția consumatorilor. Tot aici se poate include tendința inspectorilor umani de a fi subiectivi, şi de aceea procesele de inspecție pot fi compromise. Factorul tehnologic cuprinde imensele progrese care se înregistrează în automatizarea controlului calității, principalele realizări fiind dezvoltarea aplicabilității microprocesoarelor şi îmbunatățirile aduse tehnicilor de senzori fără contact.

Toți aceşti factori împing controlul calității spre ceea ce este numit *controlul calității asistată de calculator* (CAQ – Computer Aided Quality Control). Alte acronime care au fost folosite pentru descrierea acestui proces sunt inspecție asistată de calculator (CAI - Computer Aided Inspection) şi testare asistată de calculator (CAT – Computer Aided Testing). Obiectivele CAQ sunt:

- îmbunătățirea calității produselor;
- creşterea productivitatii în procesele de inspecție;
- creşterea productivității şi reducerea timpilor de producție.

Strategia abordată pentru îndeplinirea acestor obiective este automatizarea inspecției prin folosirea calculatoarelor în combinație cu o tehnologie avansată de senzori. Acolo unde este posibil şi fezabil din punct de vedere economic, inspecția va fi făcută pe 100% din lot şi nu prin prelevare de probe ca în inspecțiile manuale.

Implicațiile folosirii CAQ sunt importante. Schimbări radicale apar în felul în care controlul calității este implementat în interiorul unei companii/fabrici. Următoarea listă explică pe scurt câteva din efectele importante ale folosirii CAQ şi anume:

- cu CAI şi CAT inspecția şi testarea sunt realizate pentru o rată de 100% din întregul lot;
- procesul de inspecție va fi integrat în procesul de producție şi nu necesită mutarea pieselor pe bancuri speciale sau alte încăperi pentru inspecție;
- utilizarea senzorilor fără contact este facilitată de implementarea CAQ.

Cu dispozitive de inspecţie cu contact, piesa trebuie să fie oprită şi repoziţinată în aşa fel încât să permită dispozitivului să fie folosit. Toate aceste procese costă timp, ceea ce implică costuri sporite de producţie. Cu dispozitive de inspecţie fără contact, de multe ori piesele pot fi testate „din mers”. Aceste dispozitive, folosind viteza mare de calcul a calculatorului, pot termina procesul de inspecţie într-o fracţiune de secundă. Aceasta este o rată cu care în mod sigur aproape toate operaţiile de producţie sunt satisfăcute;

- folosirea senzorilor fără contact în timpul producţiei poate fi realizată accesând calculatorul. Aceste sisteme sunt capabile să facă măsurători în procesul de producţie şi să facă modificări în acesta în mod corespunzător (folosind datele colectate de senzori);
- în controlul tradiţional al calităţii se acceptă că un procent mai mic de 100% din lotul de produse să fie corespunzator din punct de vedere calitativ. Cu ajutorul CAQ, nu este necesar ca fabricile/companiile să se mulţumească cu o calitate mai mică decât perfecţiunea;
- în afară de CAT şi CAI, calculatorul va fi folosit şi în alte aplicaţii al controlului calităţii sau asigurării calităţii.
- există implicaţii de personal acolo unde se aplică de CAQ. Activitatea de inspecţie manuală este redusă, de aceea mai puţin personal este necesar. Este adevarat însă că personalul implicat în CAQ trebuie să aibă o calificare înaltă pentru a putea opera echipementele complexe de inspecţie şi testare.

În continuare se vor prezenta pe scurt câteva din metodele de inspecţie moderne, atât cu contact, cât şi fără. Metodele cu contact implică în general folosirea unor maşini de măsurare a coordonatelor (CMM). Multe din aceste maşini sunt în prezent controlate de calculator sau CN. Metodele fără contact sunt împărţite în două categorii: *optice* şi *non-optice*. În tabelul 10.8 se prezintă o serie de tehnologii pentru inspecţii bazate pe senzori.

Tabelul 10.8. *Metode de inspecţie*

Inspecţie cu contact	Inspecţie fără contact
CMM (maşină de măsurare) în coordonate	Tehnici optice: - fascicul laser de testare; - fotometrie; - vedere computerizată.
Sonde mecanice	Tehnici non-optice: - tehnici bazate pe câmp electric; - capacitate; - inductanţă; - tehnici bazate pe radiaţii; - ultrasunete.

10.5.1. Metode de inspecţie cu contact

Maşina de măsurat în coordonate (CMM) este cel mai reprezentativ

exemplu pentru echipamentele de inspecție cu contact (fig.10.49). O CMM este formată dintr-o masă care reține piesa în poziție fixă şi un capat mobil care conține sonda de măsură. Sonda poate fi mişcată în trei direcții, corespunzător celor trei axe de coordonate. În timpul operării, sonda este adusă în contact cu suprafața piesei de măsurat şi cele trei coordonate ale punctului respectiv sunt indicate cu o acuratețe foarte mare.

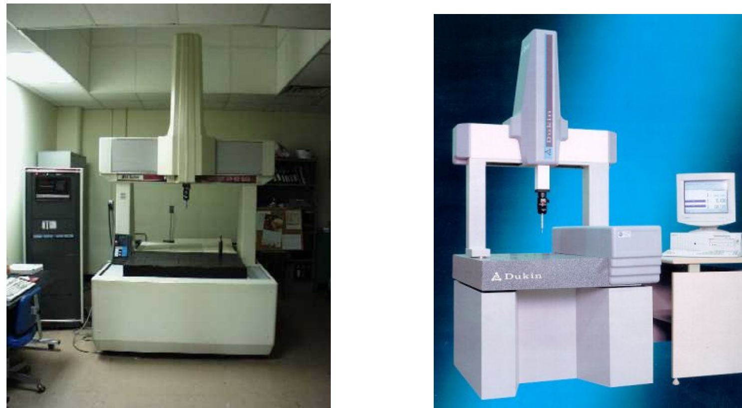


Fig. 10.49. Maşini de măsurare în coordonate.

În prezent, CMM-urile sunt controlate de calculator. Operarea maşinii este asemănătoare cu o maşina-unealtă cu CN. Programul şi coordonatele piesei pot fi stocate direct într-UN calculator central, în aceeaşi manieră ca şi în cazul unor maşini cu CN. O dată cu avansul tehnologic fără precedent din ultimele decenii, aceste tipuri de maşini (CMM controlate de calculator) pot realiza şi aliniamentul automat al piesei pe masa de lucre, transformarea automată din coordonate polare în coordonate carteziene etc.

Economia de timp realizată prin folosirea CMM-urilor este semnificativă. În general, față de timpul necesar pentru o inspecție manuală, timpul de care are nevoie o CMM este la nivelul a 5-10% din primul. Un alt avantaj al folosirii CMM-urilor este acela al consistenței.

Cu toate aceste avantaje există şi dezavantajul ca maşina de măsurare este situată într-o altă încăpere şi de aceea piesele de măsurat trebuie mutate pe masa de lucre a maşinii.

10.5.2. Metode de inspecție fără contact

Cele mai des întâlnite sunt:

a) METODELE OPTICE. Înspecția fără contact este o alternativă serioasă la metodele prezentate anterior. Dintre avantajele acestei tehnici, se pot menționa:

- elimină necesitatea mutării pieselor;
- metodele sunt mai rapide decât cele cu contact;
- în lipsa contactului se elimină oboseala mecanică a sondei;
- elimină posibilitatea deteriorării suprafeţei unei piese care ar rezulta în cazul unei inspecţii cu contact.

Sistemele optice sunt tipul predominant de metode de inspecţie fără contact. Aceste sisteme se bazează în general pe folosirea tehnologiilor microelectronice şi procesarea pe calculator a semnalelor primite de la senzori. Există o gamă largă de tehnici optice de inspecţie fără contact. Dintre acestea se va aminti pe scurt *vederea computerizată, scanarea cu fascicul laser şi fotometria.* Toate aceste metode folosesc un tip de senzor de lumină sau alt material fotosensibil (de exemplu, celule fotoelectrice, fotodiode sau hârtie fotografică etc.).

- *Vederea computerizată.* Obiectivul metodei de vedere computerizată este acela de a atribui sistemului acelaşi simţ vizual ca o persoană umană. Este un domeniu încă neexploatat pe deplin şi care deţine cheia unor îmbunătăţiri cruciale pentru productivitatea procesului de inspecţie şi a calităţii produsului rezultat. În general, un astfel de sistem conţine o cameră video şi un calculator digital legate printr-o înterfaţă specifică. Calculatorul digital preia semnalul analog de la camera video, îl digitizează şi apoi analizează imaginea rezultată cu informaţii stocate în propria memorie.

În prezent, există o serie de limitări ale acestei tehnologii. O primă limitare este împărţirea imaginilor în elemente de imagine de bază. Multe sisteme, în prezent, împart imaginile în 256×256 sau 512×512 puncte sau pixeli, număr însuficient pentru a reprezenta o rezoluţie ridicată a imaginilor. O a doua limitare este aceea de recunoaştere a obiectelor din câmpul de vedere al camerei video. De exemplu, numărul de obiecte care poate fi recunoscut de un sistem este direct proporţional cu capacitatea de stocare a calculatorului (sistemul nu poate recunoaşte obiecte pentru care nu are informaţii stocate în baza sa de date). Un alt exemplu este acela când două obiecte se obturează parţial unul pe celalalt. Tehnicile actuale nu permit recunoaşterea ambelor obiecte cu o performanţă sporită. Aceste limitări sunt în principal datorate vitezei de calcul şi capacităţii de stocare a informaţiilor a calculatoarelor. În ritmul actual de dezvoltare a echipamentelor electronice şi a programelor de calculator multe din aceste limitări vor dispărea în curând.

Câteva exemple de aplicaţii ale acestor metode pentru inspecţie sunt enumerate în continuare: inspecţia etichetelor pe sticle şi cutii, recunoaşterea automată a caracterelor (OCR – Optical Character Recognition), inspecţia grosieră a formei produselor, inspecţie pentru absenţa sau prezenţa unor părţi componente ale unui produs sau piesă, detectarea unor crăpături a altor imperfecţiuni în suprafaţa pieselor etc.

Sistemele automate cu vedere computerizată sunt de multe ori parte integrantă a liniei de producţie. Pe măsură ce imaginea este analizată, sistemul

determină dacă piesa este bună sau necesită a fi prelucrată din nou. Dacă este bună, piesa continuă procesul de producție, dacă nu, este trimisă într-o locație separată şi se va vedea dacă este rebut recuperabil sau rebut nerecuperabil.

- *Dispozitivele cu scanare cu fascicul laser*. Nu toate dispozitivele care folosesc fascicule folosesc ca sursă de lumină laserul. Există dispozitive care folosesc lumina albă sau lumina fluorescentă. Avantajul laserului este însă acela că poate fi proiectat la distante mari fără a prezenta o pierdere însemnată în energie sau intensitate.

Un exemplu de folosire al acestuia este măsurarea unei piese. În acest caz, sistemul se bazează pe măsurarea timpului şi nu a intensității luminii. Schema unui astfel de sistem este prezentată în figura 10.50.

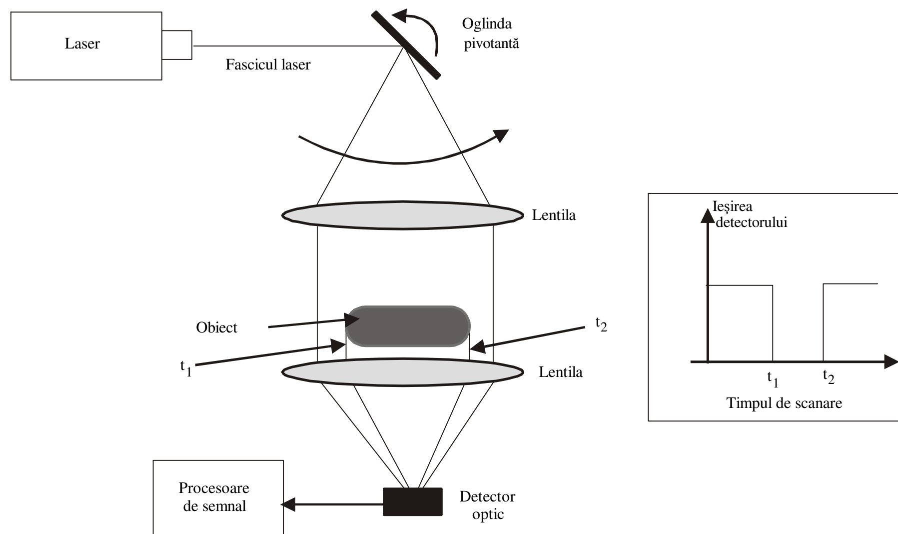


Fig. 10.50. Schema generală a unui sistem de inspecție cu fascicul laser.

Fasciculul laser emis de sursă este reflectat de o oglindă pivotantă astfel încât să scaneze obiectul de măsurat. Detectorul optic este situat în punctul focal al şi sistemului de lentile care şi detectează întreruperea fasciculului în momentul când acesta este blocat de obiect. Timpul care corespunde întreruperii luminii laser ($\Delta t = t_2 - t_1$) este măsurat şi apoi transformat în dimensiuni specifice pentru acel obiect.

- *Fotometria.* Fotometria este o metodă a cărei denumire a fost împrumutată din domeniul recunoaşterii aeriene şi a alcătuirii de hărți geologice. Aceasta presupune extragerea unor informatii tridimensionale dintr-o pereche de fotografii ale obiectului, luate la diverse unghiuri. Dezavantajul acestei metode este nevoia de fotografii, iar acestea sunt nişte proceduri mari consumatoare de timp. Principiul unui astfel de sistem este prezentat în figura 10.51.

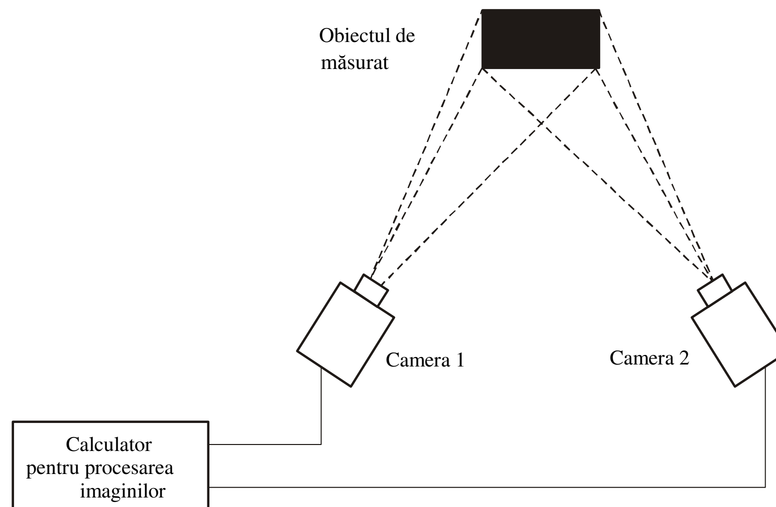


Fig. 10.51 Sistem de măsură bazat pe fotometrie.

b) METODELE NON-OPTICE. Se întrebuinţează des trei tipuri generale reprezentative de tehnici non-optice de inspecţie fără contact şi anume:

- *Tehnicile bazate pe câmpuri electrice*. Diverse tipuri de câmp electric pot fi folosite în aceste metode (capacitate, inductanţă). Un traductor tip capacitate poate fi folosit pentru măsurarea distanţei dintre sonda şi obiectul de măsurat. Această tehnică este bazată pe plasarea obiectului de măsurat în interiorul unui condensator, şi prin măsurarea capacităţii variabile a acestuia se pot determina dimensiunile obiectului. Un traductor de tip inductanţă presupune plasarea obiectului într-un câmp magnetic produs de o bobină traversată de curent alternativ. Apar curenţi de intensitate mică generaţi prin obiect. Aceşti curenţi creează propriile câmpuri magnetice care influenţează câmpul magnetic primar. Aceste interacţiuni afectează inductanţa bobinei, inductanţă care poate fi măsurată şi analizată pentru determinarea anumitor caracteristici ale obiectului;

- *Tehnicile bazate pe radiaţii*. Radiatiile X sun folosite în procesele de inspecţii ale meterialelor şi ale pieselor. Energia radiaţiilor absorbită de un material poate fi folosită atât pentru a-i măsura grosimea, cât şi pentru a-i determina alte caracteristici de calitate. Tehnici cu raze X sunt folosite pentru inspectarea calităţii sudurilor sau a ţevilor de oţel şi aluminiu. În acest caz, radiaţia este folosită pentru a detecta defecte şi goluri în sudura sau material;

- *Ultrasunetele*. În inspecţii, ultrasunetele presupun folosirea undelor sonore de înaltă frecvenţă (peste 20 000 Hz) pentru a indica calitatea unor produse. Principala aplicaţie a ultrasunetelor în inspecţie este testarea nedistructivă a materialelor. Ultrasunetele pot fi folosite şi pentru determinarea caracteristicilor dimensionale ale obiectului de inspectat sau măsurat. În timpul procesului de

inspecţie, sunetul reflectat de obiect este comparat de un calculator cu alte modele de unde stocate în memoria acestuia, modele care sunt considerate acceptabile din punct de vedere al calităţii. Dacă undele sonore provenite de la obiect diferă în mod semnificativ de cele standard din bazele de date ale sistemului, atunci obiectul este rejectat din punct de vedere calitativ.

10.5.3. Testare asistată de calculator

Testarea este în general procesul de evaluare a performanţelor funcţionale ale produsului final. Poate fi aplicată şi unor subansamble mari ca motoare şi transmisii de automobile. De asemenea poate fi aplicată doar unor părţi componente care implică un aspect funcţional care trebuie verificat. CAT este pur şi simplu implementarea unui calculator în procesul de testare.

Există mai multe nivele de automatizare care pot fi găsite în CAT. La nivelul cel mai de jos, calculatorul poate fi folosit pentru monitorizarea testelor şi analizarea rezultatelor, dar procedura de testare este efectuată manual de un operator uman. La un nivel mai înalt sunt celulele de testare. Acestea sunt formate dintr-o serie de stadii de testare interconectate între ele printr-un sistem de manevrare a materialelor. O asemenea celulă poartă amprenta unui sistem CIM. Adesea stadiile de testare sunt legate direct la linia de producţie pentru asigurarea fluidităţii procesului de testare. În timpul operării, produsul este transferat de la o staţie la cealaltă, însă fiecare staţie operează independent de celelalte. Dacă produsul trece testul, atunci el este trecut imediat la următorul pas de asamblare sau direct la împachetarea finală. În caz că obiectul nu trece testul, acesta se transferă adesea la o staţie de examinare manuală. Calculatorul este util şi în acest caz, putând indica motivul pentru care produsul n-a trecut testul sau chiar dignosticarea problemei şi oferirea de soluţii viabile pentru reparare. Aceste tipuri de celule CAT sunt implementate în cazul în care produsul de inspectat este complex şi realizat în cantităţi importante. Ca exemple se pot considera motoarele de automobile, de avioane şi circuitele integrate electronice.

10.5.4. Integrarea CAQ cu CAD/CAM

Cu toate că există destule avantaje pentru introducerea CAQ, beneficii adiţionale pot fi obţinute prin integrarea CAQ cu CAD/CAM. S-au menţionat anterior meritele unei baze de date integrate CAD/CAM (pentru că şi proiectarea şi producţia folosesc aceleaşi informaţii de bază pentru un produs). Departamentul de proiectare creează definiţia produsului pe care departamentul de producţie o foloseşte pentru a realiza planul de producţie. Adăugarea controlului calităţii este importanţă pentru sistemul CAD/CAM. Departamentul de control-calitate trebuie să folosească aceeaşi bază de date pentru a-şi îndeplini cu succes funcţia (standardele cu care trebuie comparate produsele sunt conţinute în baza de date

CAD/CAM).

O metodă prin care baza de date poate fi folosită este dezvoltarea de programe CN pentru operarea maşinilor de măsurare coordonate (CMM). Altă metodă în care o bază de date comună este de folos procesului de control al calităţii este aceea a executării unor schimbări inginereşti asupra produsului. Aceste schimbări influenţează în mod evident procesele de inspecţie şi testare. Este foarte util ca aceste schimbări să fie înregistrare într-o bază de date comună pentru toate departamentele, inclusiv pentru cel de control-calitate.

Un alt avantaj al folosirii CAQ într-un sistem CAD/CAM este în procesul de monitorizare a producţiei. Datele generate de procesul de monitorizare sunt foarte utile pentru departamentul de control al calităţii în găsirea cauzelor pentru o calitate scăzută într-un lot specific de produse.

10.6. PLANIFICAREA ŞI CONTROLUL PRODUCŢIEI

Acest paragraf prezintă pe scurt folosirea calculatoarelor pentru managementul procesului de producţie. În mod traditional, acest management se mai numeşte şi *planificarea şi controlul producţiei.* Încercări de folosire a calculatoarelor pentru PP&C datează încă din anii 1950 şi 1960. Primele încercări au fost direcţionate pentru automatizarea acelor procese manageriale care în mod tradiţional se făceau manual. Aceste procese manageriale includeau pregătirea de orare, liste de necesităţi, liste de inventar şi alte asemenea documente. În timpul anilor 1960 şi 1970 câţiva cercetători au înţeles potenţialul enorm al folosirii calculatoarelor pentru realizarea de schimbări fundamentale în PP&C. Printre aceştia merită menţionati Joseph Orlicky şi Oliver Wight. Planificarea necesităţilor de materiale (MRP – Material Requirements Planning) a fost una dintre primele proceduri în care introducerea calculatoarelor a adus îmbunătăţiri substanţiale. În paragrafele următoare se va prezenta modul în care PP&C a fost realizat în mod tradiţional, ca şi dezavantajele care derivă de aici. Apoi se va prezenta pe scurt modul în care calculatoarele îmbunătăţesc procedurile legate de managementul proceselor de producţie.

10.6.1. PP&C tradiţional

Planificarea şi controlul tradiţional al producţiei poate fi definit ca un ciclu în care pot fi identificate cel puţin douăsprezece funcţii (fig.10.52). Câteva din aceste funcţii sunt realizate de departamente diferite decât cele de produce, printre care:

- *previziune vânzări*. Această funcţie se ocupă cu predicţia vânzărilor viitoare ale unei companii. În funcţie de durata de timp pe care încearcă să se facă estimarea există trei tipuri de previziuni: *pe termen scurt, mediu* şi *pe termen lung;*

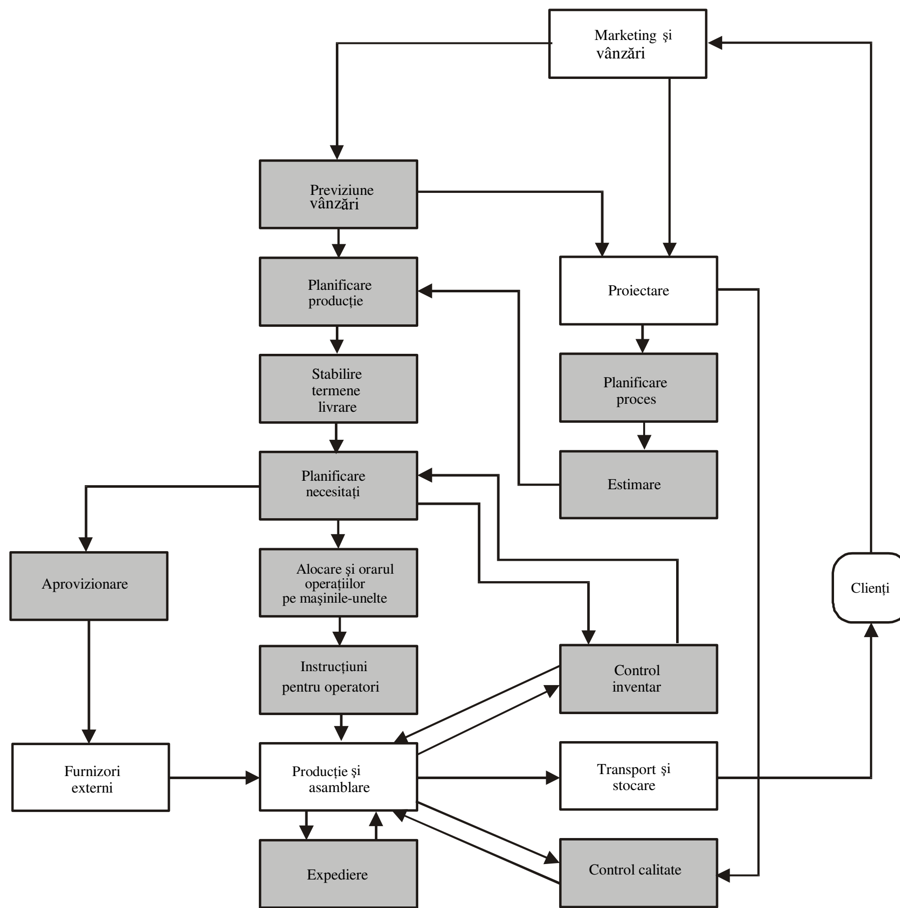


Fig. 10.52. Ciclu de activităţi într-UN PP&C tradiţional.

- *planificare producţie*. Această funcţie are ca obiectiv stabilirea nivelelor de producţie pentru grupurile operatorii din companie pe o perioadă determinată de timp. Este bazată pe previziunea vânzărilor şi este folosită şi pentru controlul inventarului;

- *planificare proces.* Aceasta presupune determinarea operaţiilor necesare producerii unui produs, ca şi ordinea în care acestea trebuie efectuate;

- *estimare.* În scopul determinării preţului şi a pregătirii programelor de lucru, compania va face estimări ale timpilor şi costurilor de producţie bazate pe informaţiile de la departamentul de aprovizionare şi contabilitate;

- *stabilire termene de livrare*. Această funcţie presupune stabilirea numărului de unităţi care trebuie livrate clienţilor şi termenele limită de expediere a acestora;

- *planificare necesități*. Bazându-se pe planul şi termenele de producție, materialele brute sau părțile componente trebuie cumpărate de la furnizori externi. Toate acestea trebuie făcute după un plan care să asigure fluiditatea procesului de producție. Acesta este planul de necesități de materiale;

- *aprovizionarea*. Compania poate realiza toate subansamblele utilizând propria linie de producție. În unele cazuri însă, se pot cumpăra subansamble dacă acest lucru este viabil din punct de vedere economic şi calitativ;

- *alocare maşini-unelte*. Aceasta implică stabilirea datelor de început a producției subansamblelor pe tot parcursul procesului de produce. Numărul de operații care trebuie efectuate de linia de producție este în general mai mare decât numărul de maşini disponibile. De aceea, va exista o listă de aşteptare pentru fiecare maşină în parte, dar această listă trebuie realizată în aşa fel încât să nu afecteze timpii de producție.

- *instrucțiuni pentru operatori*. Această funcție realizează transmiterea de comenzi şi instructiuni individuale către operatorii maşinilor-unelte. Aceasta implică planuri de producție, desene, materiale şi instructiuni de prelucrare;

- *corectare*. Chiar folosind cele mai bune planuri şi termene de producție, lucrurile pot evolua nu tocmai cum se aşteaptă producătorul. În acest caz, este treaba departamentului de corecție a producției să sugereze modalități de corectare a problemelor apărute în fluxul de producție, în aşa fel încât capacitatea de producție să fie realizată la timpii şi calitatea stabilite împreună cu clienții;

- *control calitate*. Departamentul de control al calității este responsabil pentru asigurarea nivelului calitativ al produselor;

- *transport şi stocare*. Ultimul stadiu al ciclului de producție este livrarea produselor către client/beneficiar sau stocarea acestora în depozitele fabricii pentru vânzări ulterioare.

Există multe probleme care apar în timpul acestui ciclu PP&C tradițional. Multe din aceste probleme apar din cauza incapacității metodelor tradiționale de a se adapta naturii schimbătoare a proceselor de producție. Câteva din problemele tipice întâlnite sunt enumerate în continuare:

- *problemele cu capacitatea de producție*. Producția este întârziată din cauza lipsei resurselor umane sau a echipamentelor;

- *planificarea eronată a producției*. Operațiile sunt planificate într-o ordine greşită sau cu timpi de terminare insuficienți, aceasta ducând la fragmentarea producției;

- *controlul ineficient al stocurilor*. În timp ce la unele materiale brute stocurile cresc fără ca acestea să fie absolut necesare producției, pentru altele stocurile scad, făcând imposibilă continuarea producției fără o nouă aprovizionare, ceea ce înseamnă întârzieri;

- *problemele de calitate*. Defecte de calitate apar în componentele sau subansamblele produse, ceea ce presupune o reprelucrare a acestora, ducând astfel la întârzieri în producție.

10.6.2. Planificarea şi controlul producţiei asitate de calculator

Există o mare varietate de factori care au influenţat evoluţia unei abordări moderne şi eficiente ale PP&C. Cel mai evident dintre aceşti factori este evoluţia rapidă a calculatoarelor. În plus au existat şi alţi factori la fel de importanţi, ca de exemplu, creşterea nivelului de profesionalism în domeniul PP&C. Planificarea producţiei a devenit gradual, dintr-o operaţie pe care o realiza un funcţionar, o profesie recunoscută care necesită un nivel înalt de pregătire academică. Sisteme, metodologii şi diverse terminologii au fost dezvoltate pentru a face faţă problemelor din acest domeniu.

Figura 10.53 reprezintă o diagramă bloc a funcţiilor şi relaţiilor într-un sistem PP&C asistat de calculator. Multe din aceste funcţii sunt identice cu cele dintr-un model tradiţional. De exemplu, previziunea costurilor, planificarea producţiei, stabilirea termenelor de producţie, aprovizionarea şi alte funcţii din figură rămân neschimbate. Aceste funcţii sunt realizate însă cu ajutorul calculatorului, dar în sine rămân relativ neschimbate. Schimbări semnificative au apărut însă în organizarea şi execuţia PP&C prin implementarea unor scheme ca: planificarea necesităţilor de materiale, monitorizarea producţiei şi planificarea capacităţii de producţie. Aceste noi funcţii introduse sunt haşurate în figura 10.53 şi vor fi descrise foarte pe scurt în continuare:

- *baza de date.* Acestă bază de date cuprinde toate informaţiile necesare fabricării componentelor şi asamblării produsului. Ea include facturile de materiale, listele de asamblare, schiţele de proiectare ale subasamblelor etc.;

- *planificarea necesităţii de materiale* (MRP – Material Requirements Planning). MRP presupune determinarea timpului când materialele brute sau componentele trebuie comandate de la furnizori. Poate de asemenea să schimbe priorităţile de aprovizionare pentru unele materiale, ca răspuns la schimbările din linia de producţie sau a cererii de pe piaţă (flexibilitate);

- *planificarea capacităţii de producţie.* Aceasta implică determinarea resurselor de muncă şi echipamentele necesare pentru a realiza cerinţele de producţie ca şi nevoile pe termen lung ale companiei/fabricii. Planificarea capacităţii este în general realizată în termeni de muncă şi/sau ore libere pe fiecare maşină-unealtă şi se realizează fie pe termen scurt, fie pe termen lung. Planificarea pe termen scurt include decizii ca:

- numărul de schimburi de muncă;
- numărul de ore necesare în afara programului de lucru (dacă este necesar);
- menţinerea inventarului la zi;
- subcontractarea în timpul perioadelor aglomerate a comenzilor parţiale/totale către alte companii.

Planificarea pe termen lung include:

- investirea în maşini-unelte noi sau sisteme de producţie avansate care

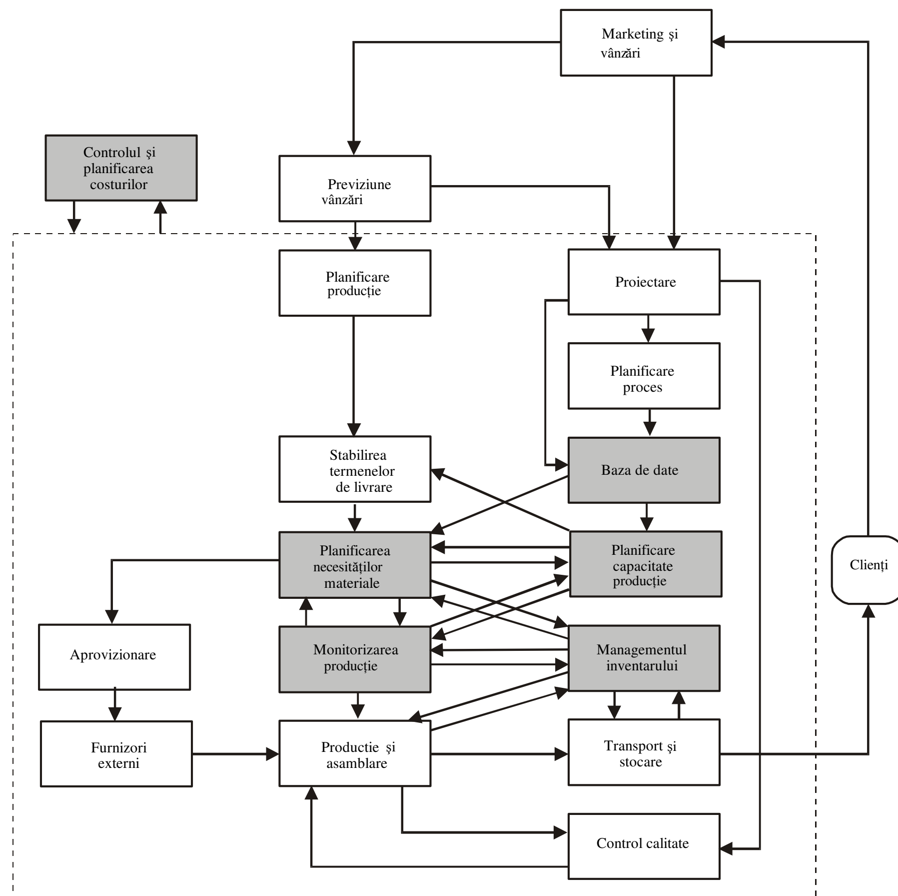


Fig. 10.53. Ciclul de operaţii într-un sistem PP&C asistat de calculator.

asigură creşterea productivităţii;

- construcţia şi amenajarea unor noi spaţii de producţie;
- cumpărarea unor spaţii de producţie de la alte companii;
- închiderea unor facilităţi de producţie neproductive sau care nu vor mai fi necesare în viitor.
- *managementul inventarului*. Într-un mediu de producţie, managementul inventarului este strâns legat de MRP. Obiectivele acestuia sunt simple – să păstreze o investiţie scăzută în stocuri, dar în acelaşi timp să menţină un serviciu impecabil pentru clienţi;
- *monitorizarea producţiei*. Acest termen se referă la un sistem de monitorizare a stării curente a unui proces de producţie şi realizarea unui raport către managementul companiei despre activitatea din fabrică;

- *planificarea şi controlul costurilor*. Sistemul de planificare şi control al costurilor conţine baza de date pentru determinarea costurilor, estimative de producţie şi programe de calculator pentru analiza costurilor în scopul comparării acestora cu preţurile reale de producţie. De asemenea, în funcţie de această comparaţie dintre aceste costuri, programele de calculator pot da răspunsuri în legătură cu provenienţa diferenţelor. Planificarea costurilor răspunde practic la întrebarea: „Care sunt costurile estimative de producţie pentru un anumit produs?". Controlul costurilor implică răspunsurile la întrebările: „Care sunt costurile reale de producţie?" şi „Care sunt diferenţele dintre preţul estimat şi cel real al unui proces de producţie?".

10.7. VIITORUL CIM/CAD/CAM

În ultima decadă, CIM/CAD/CAM a dat dovada speranţei în privinţa viitorului indsutriei producătoare, viitor în contrast cu rapoartele recente despre creşterea economică lentă din SUA, Japonia şi Europa. Tehnologia CIM/CAD/CAM a răspuns în mod ferm cerinţelor industriei de grafică interactivă, de roboţi inteligenţi, de tehnici îmbunătăţite de inspecţie etc. În următoarele paragrafe se vor explora câteva din posibilele dezvoltări ale CIM/CAD/CAM din perspectiva relativ subiectivă a autorilor. Majoritatea acestor comentarii sunt bazate pe curentele recente din aceste tehnologii.

Viitorul CAD/CAM este intensificat de avansul tehnologic fără precedent al tehnologiilor de comunicaţii, microprocesoarelor şi al programelor de calculator. Îmbunătăţirea tehnicilor de comunicare va însemna un schimb facil de înformaţie între om, maşină şi calculator. Vor putea fi realizate sisteme în care inginerii şi operatorii umani vor avea acces la tehnici computerizate foarte puternice, de la un terminal care poate fi la o mare depărtare de un calculator. Acest terminal poate fi de dimensiuni reduse (de exemplu, cât un calculator de buzunar), dar va avea posibilitatea comunicării cu calculatorul principal. Există deja producători care au pus deja această idee în practică.

Un alt curent clar care va avea un impact important în tehnologia CIM/CAD/CAM va fi folosirea pe scară largă a microprocesoarelor pentru construcţia unor noi generaţii de maşini-unelte sau roboti inteligenţi. Folosirea inteligenţei unor sisteme bazate pe microprocesoare va influenţa, de asemenea, şi procesul de producţie. Folosirea roboţilor inteligenţi, a maşinilor-unelte şi a dispozitivelor de inspecţie, conectate la un calculator principal, va genera atât un progres în automatizarea producţiei, cât şi posibilitatea unei flexibilităţi mărite a dispozitivelor de producţie care, în acest fel, vor putea face faţă cerinţelor diverse ale pieţii.

Costul capacităţii de stocare a calculatoarelor continuă să scadă şi aceasta va avea implicaţii importante în CAD/CAM. Va deveni fezabilă stocarea a zeci sau

chiar sute de mii de desene standard, față de un număr limitat de caracteristici ale acestora, cum este cazul sistemelor din prezent. Într-un viitor cât mai apropiat, calculatorul va deveni el însuşi un dispozitiv de stocare a informației, în comparație cu momentul actual când se apelează în mod constant la memorii secundare externe. Acestea nu vor dispărea, ci vor avea doar un rol de păstrare a unor copii de siguranță al datelor.

Tehnologia terminalelor grafice se îmbunătățeşte pe zi ce trece şi aceasta va afecta operațiile unei companii care tinde spre CAD. Deja există terminale grafice de înaltă fidelitate, produse la costuri acceptabile. Avântul terminalelor ,,plate”, cu cristale lichide care nu emană radiații, dar care păstrează o fidelitate crescută a imaginilor vor avea de asemenea un potențial crescut de folosire în sistemele CIM.

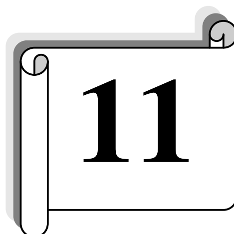
Grafica color şi grafica de modelare a solidelor este deja un domeniu folosit în CAD/CAM. Noi imprimante şi plottere color sau alte unități de listare a graficii de pe ecranul terminalului grafic pe suporturi externe vor ajuta la creşterea folosirii modelării solidelor şi a graficii în trei dimensiuni.

Recunoaşterea vocii şi ,,vederea” computerizată (*computer vision*) vor exista în viitorul apropiat. Terminalele de calculator vor fi capabile să recunoască şi să accepte comenzi vocale şi aceasta înseamnă în primul rând economie de timp. De asemenea, vederea computerizată, o tehnologie deosebit de importanță pentru dezvoltarea de noi generații de roboți industriali inteligenți, va fi utilizată şi în CAD.

Domeniul roboticii este un domeniu ce se mişcă cu o viteză extraordinară. Noi tipuri de senzori robotici vor face posibilă implementarea acestora în aproape toate domeniile industriale.

Pe lângă aceste inovații şi îmbunătățiri tehnologice, trebuie să existe, de asemenea, şi schimbări în modul în care se realizează afacerile în firmele de producție. Cu noile tehnologii de comunicare şi cu dezvoltarea calculatoarelor este deja posibil că producătorul şi clienții să-şi comunice date despre comenzi, schițe inginereşti, specificații tehnice în mod electronic. De asemenea, persoane fără cunoştinte tehnice vor putea în viitor să folosească calculatoarele, care cu ajutorul unor senzori de recunoaştere voce vor fi mult mai interactive şi flexibile.

O dată cu toate aceste schimbări viitoare, va exista o disoluție graduală a separării tradiționale dintre procesul de proiectare şi producție. Adică, impactul CAD/CAM asupra progresului industrial s-ar putea să fie cel mai semnificativ doar la nivelul integrarii dintre proiectare şi producție.



OBȚINEREA PIESELOR PRIN TĂIERE

11.1. GENERALITĂȚI

Tăierea este metoda tehnologică de separare totală sau parțială a unor părți dintr-un material sau semifabricat. Tăierea se poate face după un *contur deschis* – în cazul debitării; respectiv *închis* – în cazul perforării, decupării, găuririi, străpungerii, laminării țevilor.

Tăierea are multiple aplicații, atât în cazul realizării de piese noi, cât şi în cazul remedierii avariilor şi a efectelor acestora, în acțiuni de salvare pe uscat, în aer, în apă, sub apă, în spațiu, în demontarea construcțiilor sudate, demolarea construcțiilor şi structurilor din beton armat, recuperarea materialelor etc.

Tăierea termică şi cea cu fascicule sau jeturi concentrate sunt procedee cu grad mare de *flexibilitate* şi *universalitate*, putând fi utilizate atât în producția de serie, cât şi în cea de unicate, pentru o diversitate de forme de piese. Aceste procedee nu necesită scule scumpe (ca în cazul prelucrărilor prin deformare plastică sau prin aşchiere).

11.2. CLASIFICAREA PROCEDEELOR DE TĂIERE

Clasificarea procedeelor de tăiere se face după mai multe criterii astfel:

• după metoda de tăiere se deosebesc:

- *prin deformare plastică şi forfecare:* prin forjare, prin laminare,

cu tăişuri asociate, dăltuire etc.;

- *prin aşchiere cu scule aşchietoare şi abrazive*: retezare, debitare, tăiere abrazivă;

- *prin microaşchiere*: electrochimic, prin electroeroziune, cu jet de apă, cu ultrasunete, prin tobare;

- *termică:* cu flacără, cu arc electric, cu plasmă, cu laser, cu fascicul de electroni;

- *prin explozie.*

• după denumirea procedeului se deosebesc:

- *despicarea* – tăierea în lung, pe direcţia fibrajului, parţială sau totală, de la margine spre interior;

- *retezarea* – separarea extremităţii unei piese prin tăiere transversală, perpendicular pe axa piesei;

- *exciziunea* – separarea prin tăiere a unei bucăţi mari din interiorul piesei;

- *debitarea* – pentru obţinerea pieselor semifabricat; se aplică produselor laminate groase (ţagle, brame, bare, ţevi groase); profile grele; profile subţiri; sârme; table; benzi; ţevi; profile uşoare;

- *curăţirea, debavurarea* – pentru piesele turnate şi forjate;

- *laminarea ţevilor groase* (prin procedeul *Mannesmann*);

- *ştanţarea* – pentru perforarea sau decuparea tablelor;

- *calibrarea* – pentru îndepărtarea bavurilor pieselor forjate în matriţă sau turnate de precizie;

- *tunderea* – pentru îndepărtarea marginilor neregulate ale pieselor ambutisate.

Deoarece multe din procedee de tăiere au fost tratate în capitolele anterioare, prezentul capitol prezintă *tăierea termică, debavurarea prin explozie* şi *tăierea cu jet de apă*.

11.3. TĂIEREA TERMICĂ

Tăierea termică este considerată ca o familie de procedee tehnologice înrudite cu sudarea, deoarece are la bază aceleaşi fenomene fizico-chimice de topire a materialului.

Tăierea termică se poate face în două moduri:

- *prin arderea locală a materialului* (preîncălzirea, oxidarea, urmată de topirea şi îndepărtarea oxizilor rezultaţi – cazul tăierii cu flacără, cu arc electric, oxi-arc, oxi-laser);

- *prin topirea locală concentrată a particulelor de material*, urmată de vaporizarea acestora – cazul tăierii cu fascicule concentrate (laser, plasmă, electroni).

Spre deosebire de alte procedee de tăiere (prin forfecare sau prin aşchiere), tăierea termică permite concentrarea de energii mari pe suprafețe restrânse, având ca efect o productivitate ridicată, calitate bună a suprafeței, pierderi mici de material.

Procedeele de tăiere termică folosesc adesea instalații de gabarit mic, portabile, fapt ce permite un grad mare de mobilitate; procedeul se poate aplica în zone izolate, unde nu există rețele de curent electric.

Tăierea termică necesită măsuri specifice de *protecția muncii*, procedeele având restricții de aplicare în medii cu pericol de explozie sau de incendiu (de exemplu, la salvarea persoanelor din interiorul vehiculelor avariate sau la repararea tancurilor de combustibil).

11.3.1. Tăierea cu flacără

Tăierea cu flacără include mai multe procedee care utilizează reacții de oxidare a materialului de bază la temperaturi înalte, deosebindu-se:

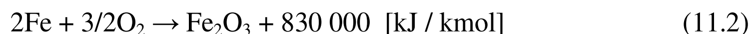
- *tăierea cu oxigen*, care se aplică în cazul oțelurilor cu conținut redus de carbon (oțeluri carbon de construcție);

- *tăierea cu oxigen* şi *flux*, care se aplică în cazul oțelurilor aliate, fontelor, aliajelor neferoase.

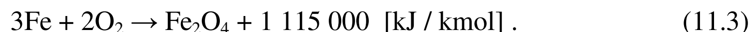
Tăierea cu oxigen a oțelurilor se bazează pe următoarele reacții chimice exoterme:



$$Fe + 1/2O_2 \rightarrow FeO + 269\ 000 \quad [kJ / kmol] \qquad (11.1)$$



$$2Fe + 3/2O_2 \rightarrow Fe_2O_3 + 830\ 000 \quad [kJ / kmol] \qquad (11.2)$$



$$3Fe + 2O_2 \rightarrow Fe_2O_4 + 1\ 115\ 000 \quad [kJ / kmol]\ . \qquad (11.3)$$

Oțelurile carbon de construcții sunt materiale tăiate frecvent cu flacără. Pentru a fi tăiat, oțelul trebuie preîncălzit la temperatura de aprindere în oxigen de 1 100 – 1 300 ^{0}C. Încălzirea se face cu o flacără de preîncălzire oxigaz cu caracter reducător. Reacțiile exoterme (11.1) – (11.3) asigură 60% din căldura necesară procesului de tăiere, iar restul de 40% trebuie generată de flacăra de preîncălzire (se poate observa deci eficiența procedeului, care utilizează o mare parte din căldura recuperată din reacțiile exoterme). Se pot tăia oțeluri cu până la 2,2 %C.

Condițiile pentru a se putea aplica tăierea cu oxigen sunt următoarele:

- temperatura de ardere în oxigen a materialului să fie inferioară temperaturii de topire a acestuia;

- temperatura de topire a oxizilor rezultați prin ardere să fie inferioară temperaturii de topire a materialului;

- produșii de ardere să poată fi îndepărtați prin suflare din zona de tăiere, astfel ca jetul de oxigen pentru ardere să poată avea acces la suprafața materialului de tăiat (dacă apar oxizi greu fuzibili – cazul oțelurilor inoxidabile – materialul de

bază se topeşte la 1 350 – 1 400 ^{0}C, oxizii de Cr la 2 000 ^{0}C – oxizii greu fuzibili nu pot fi îndepărtați prin suflare din zona de lucru, procesul de tăiere fiind îngreunat);

- materialul să fie aşeazat în poziție orizontală, pe suporții unei mese pentru tăiere (sub material trebuie să existe spațiu pentru scurgerea liberă a oxizilor topiți antrenați de jetul de gaze), arzătorul se poziționeză perpendicular pe suprafața materialului;
- arderea materialului în oxigen să fie o reacție exotermă, astfel încât procedeul să consume cât mai puțină energie din exterior;
- conductibilitatea termică a materialului să permită concentrarea căldurii în zona de tăiat (de exemplu, în cazul cuprului şi aluminiului, conductibilitatea termică fiind foarte mare, zona de tăiere se răceşte rapid şi procesul se întrerupe);
- oxigenul folosit să fie cât mai pur, pentru a reduce durata operațiilor şi a se putea utiliza o presiune joasă de lucru;
- flacăra de preîncălzire să prevină carburarea suprafeței materialului;
- materialul de tăiat să nu aibă defecte de suprafață (exfolieri, pori, fisuri) sau de profunzime (sufluri, fisuri), care pot afecta procesul de tăiere.

Becul de gaz pentru tăiere (figura 11.1) asigură două funcții: amestecarea gazelor în proporțiile prestabilite (oxigen şi acetilenă) pentru flacăra de preîncălzire şi jetul uniform şi focalizat de oxigen pur necesar arderii materialului şi îndepărtării produşilor de ardere topiți din rostul tăieturii. Becul pentru tăiere se poate deplasa manual sau mecanizat în lungul traiectoriei tăieturii.

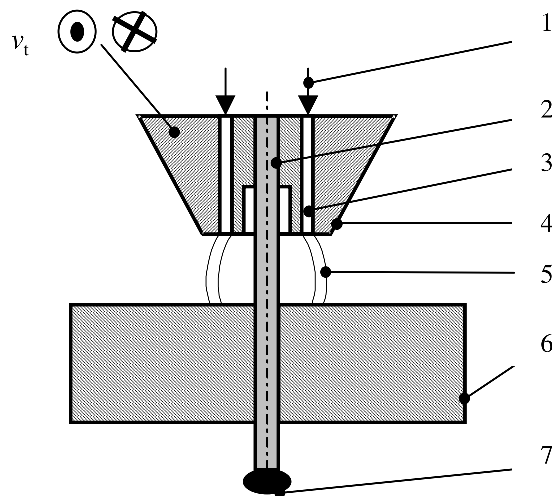


Fig. 11.1. Schema tăierii cu flacără oxigaz:
1 - amestec de gaze pentru flacăra de preîncălzire; 2 - jet de oxigen pentru tăiere; 3 - ajutaj central; 4 - ajutaj inelar, bec de tăiere; 5 - flacără de preîncălzire; 6 - piesă; 7 - material oxidat; v_t – viteza de tăiere.

La tăierea manuală, becul se montează pe un cărucior simplu care asigură atât distanța constantă față de suprafața materialului, cât şi deplasarea uşoară a ansamblului bec–cărucior. Atât căruciorul, cât şi becurile, duzele şi mânerul arzătorului fac parte din trusa standard pentru sudarea cu flacără.

La tăierea mecanizată mai multe becuri (2-24) sunt montate pe o maşină care asigură deplasarea controlată a flăcărilor de tăiere pe suprafața materialului. Controlul deplasării se poate face în regim automat, semiautomat sau manual. Maşinile moderne de tăiat cu flacără sunt prevăzute cu comandă numerică – deplasarea putând fi comandată pe câte o axă succesiv sau simultan pe ambele axe – maşina lucrând în ciclu automat.

Tăierea cu oxigen şi flux se aplică pentru materialele greu fuzibile sau cu coductibilitate termică ridicată, care nu pot fi tăiate doar cu flacără şi oxigen.

Utilizarea fluxului se face în scopul măririi puterii calorice a flăcării şi pentru controlul procesului de oxidare. Fluxul este compus din pulbere de fier – care are rolul de a genera căldură (circa 60%) prin reacțiile de oxidare (11.1) – (11.3) exoterme descrise la tăierea cu oxigen; respectiv fondanți (carbonați şi silicați) care au rolul de a crea compuşi uşor fuzibili prin reacție cu produşii de ardere de pe suprafața piesei de tăiat.

Becul pentru tăierea cu oxigen şi flux (fig.11.2) are o construcție diferită de cel pentru tăierea cu oxigen, având în plus față de acesta un al doilea ajutaj inelar prin care este adus fluxul (antrenat de un jet de oxigen) în zona de lucru. Fluxul este distribuit astfel încât să îmbrace flacăra pentru tăiere şi pe cea de preîncălzire, protejând zona de lucru.

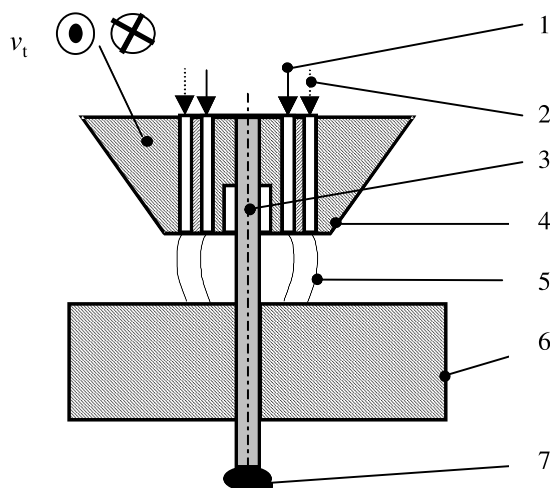


Fig. 11.2. Schema tăierii cu flacără oxigaz şi flux:
1 - amestec de gaze pentru flacăra de preîncălzire; 2 - oxigen şi flux; 3 - jet de oxigen pentru tăiere; 4 - bec de tăiere; 5 - flacără de preîncălzire; 6 - piesă; 7 - material oxidat; v_t – viteza de tăiere.

11.3.2. Tăierea cu arc electric

Tăierea cu arc electric desemnează mai multe procedee de tăiere a materialelor care au la bază o descărcare electrică între un electrod sculă şi unul piesă, astfel:

- tăierea arc-aer (electrod nefuzibil şi jet de aer comprimat);
- tăierea oxi-arc (electrod fuzibil tubular şi jet de oxigen);
- tăierea cu electrozi înveliţi (electrod fuzibil învelit).

Tăierea arc-aer constă în topirea materialului sub efectul termic al arcului electric amorsat între scula electrod (legat la anod) şi piesă (catod), urmată de îndepărtarea cu ajutorul unui jet de aer comprimat a produşilor de topire. Tăierea are loc ca urmare a procesului de topire şi nu a celui de oxidare, care este un proces secundar.

Electrodul sculă este confecţionat din cărbune, grafit sau cărbune cuprat, are diametre între 4-12 mm, lungime 200-300 mm.

Tăierea arc-aer se aplică oţelurilor carbon de construcţie şi celor aliate. Procedeul este folosit în operaţii de curăţare a pieselor turnate, forjate, la recondiţionarea pieselor cu defecte, la pregătirea rosturilor pentru sudare. Procedeul are avantajul că este economic şi uşor de aplicat datorită simplităţii echipamentelor, similare celor de la sudarea cu arc electric: sursă de curent continuu, sursă de aer comprimat, cleşte pentru tăierea arc-aer, electrozi, conductori electrici, furtunul pentru aer.

Tehnologia de tăiere arc-aer presupune stabilirea următorilor parametri de proces:

- diametrul electrodului, care se ia în gama de dimensiuni 4, 6, 8, 10, 12 mm, în funcţie de grosimea materialului de tăiat (5-30 mm);
- valoarea curentului, care se determină în raport cu grosimea şi natura materialului de tăiat şi cu diametrul electrodului, densitatea de curent trebuie să se situeze între 6-8 A/mm^2;
- presiunea aerului comprimat, care se alege între 5-6 bar, astfel încât să se menţină stabilitatea arcului electric şi să se îndepărteze corespunzător produşii de tăiere, menţinându-se curate marginile tăieturii;
- viteza de tăiere, care se alege în funcţie de grosimea materialului, valoarea curentului şi de presiunea aerului comprimat;
- lăţimea tăieturii, care depinde de diametrul electrodului;
- poziţia electrodului, care depinde de tipul prelucrării: pentru tăiere sau prelucrarea rostului electrodul se înclină la 45 - 60^0 faţă de orizontală, pe direcţia tăieturii, în sens contrar vitezei de tăiere (la scobire înclinarea este de 30 - 45^0).

Tăierea oxi-arc constă în topirea materialului cu ajutorul arcului electric, oxidarea acestuia şi îndepărtarea produşilor de tăiere cu ajutorul jetului de oxigen.

Procedeul utilizează un electrod tubular din sârmă cu înveliş. Oxigenul este adus în zona de lucru prin canalul central al electrodului (figura 11.3).

Procedeul se aplică la tăierea oțelurilor nealiate şi aliate, a metalelor şi aliajelor neferoase. Se pot tăia grosimi de până la 60 mm.

Parametri tehnologici la tăierea oxi-arc sunt:

- diametrul electrodului, de regulă, se folosesc electrozi de 5 mm, având un canal de 1; 1,5; 2 mm grosime;

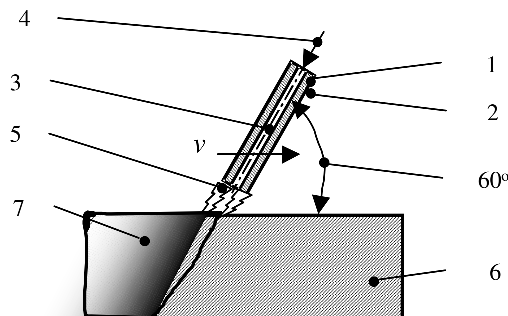


Fig. 11.3. Schema tăierii oxi - arc:
1 – sârmă electrod tubular; 2 – înveliş; 3 – canal; 4 – jet de oxigen; 5 – arc electric;
6 – piesa de tăiat; 7 – zona tăieturii; *v* – viteza de tăiere.

- curentul de tăiere, care creşte cu grosimea şi conductibilitatea termică a materialului de tăiat şi scade cu debitul de oxigen;
- presiunea şi debitul de oxigen, care creşte cu grosimea materialului;
- viteza de tăiere, care scade cu grosimea materialului.

Tăierea cu electrozi înveliți constă în topirea materialului cu ajutorul arcului electric amorsat între electrod şi materialul de tăiat; evacuarea produşilor de tăiere se face gravitațional, prin greutate proprie. Calitatea suprafeței este scăzută. Procedeul este foarte simplu şi uşor de pus în practică. Este mai puțin eficient decât tăierea cu flacără sau cea oxi-arc.

Electrozii pentru tăiere au un înveliş pe bază de pulbere de fier, astfel încât, prin oxidarea fierului, să se obțină efectul reacției exoterme de la tăierea cu flacără.

Parametrii tehnologici sunt similari sudării cu electrozi înveliți, cu următoarele deosebiri:

- tensiunea şi curentul arcului sunt mai mari cu 30 - 50%, (de exemplu, pentru diametrul electrodului de 4 mm, curentul de sudare este de 240 - 280 A);
- lungimea arcului este mai mare, pentru a produce încălzirea suprafeței materialului.

11.3.3. Tăierea cu plasmă

Tăierea cu plasmă se bazează pe *topirea* şi *expulzarea* metalului topit din zona de tăiat cu ajutorul unui jet de plasmă. Plasma este un gaz ionizat, puternic

disociat, compus dintr-un amestec de electroni, ioni pozitivi şi atomi, conţinând aproximativ 10^9 particule încărcate pe centimetru cub. Plasma – definită ca a patra stare de agregare a materiei – poate fi generată prin aplicarea asupra moleculelor unui gaz a unor forţe electromagnetice şi/sau termodinamice suficient de intense pentru a produce descompunerea moleculelor în ioni şi electroni. Global, sistemul gazos este neutru, dar local, pot apare fluctuaţii ale densităţii de electroni, care generează oscilaţii ale plasmei. Un arc electric de înaltă tensiune poate fi folosit pentru producerea plasmei prin ionizarea unui gaz plasmagen. La contactul cu atmosfera, ionii din jetul de plasmă se recombină cu electronii cedând energia înmagazinată anterior prin ionizare. Energia astfel dezvoltată se adaugă celei a arcului electric, producând temperaturi de peste 15 000^0C concentrate într-un fascicul fin pe suprafaţa piesei de tăiat. Datorită temperaturilor mari dezvoltate, vitezei mari de expulzare a gazelor, posibilităţii concentrării şi focalizării jetului de plasmă, procedeul poate fi utilizat eficient pentru tăierea aliajelelor refractare. De asemenea, oţelurile inoxidabile şi cele înalt aliate pot fi tăiate uşor cu plasmă.

Tăierea cu plasmă se poate aplica numai materialelor electroconductoare: oţeluri, oţeluri aliate, aliaje neferoase.

Performanţele procedeului:

- deformaţii termice reduse;
- cviteză ridicată de tăiere (5 - 7 ori mai mare decât tăierea oxigen-flux);
- nu necesită preîncălzirea materialului;
- grosimi de tăiere 0,5 - 160 mm;
- calitate ridicată a marginilor pieselor tăiate.

Generarea plasmei se face prin trecerea unui amestec de gaze prin spaţiul unui arc electric de curent continuu (fig.11.4): amorsarea arcului de plasmă se face cu ajutorul arcului electric pilot 2, care se stabileşte între electrodul 1 şi duza electrod 3; tensiunea arcului se reglează cu ajutorul reostatului 8 din circuitul

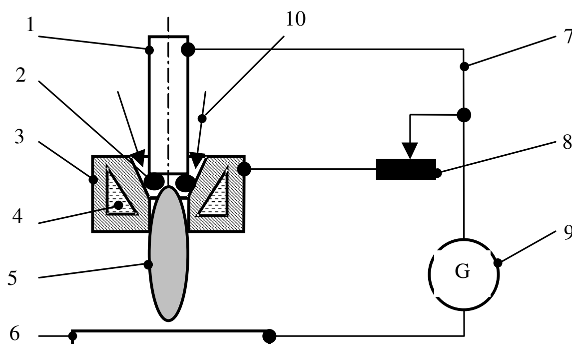


Fig. 11.4. Generarea plasmei cu arc electric:
1 – electrod; 2 – arc electric de amorsare; 3 – duza electrod; 4 – apă de răcire; 5 – jet de plasmă; 6 – piesa de tăiat; 7 – circuit de alimentare; 8 – reostat; 9 – sursă de curent continuu; 10 – gaz plasmagen.

electric 7, alimentat de generatorul 9; după amorsarea arcului se introduce gazul plasmagen 10 prin duza electrod 3, formându-se jetul de plasmă 5, care este orientat spre piesa de tăiat 6. Duza electrod 3 este răcită cu apă prin circuitul 4.

Gazele plasmagene utilizate la tăiere influențează atât generarea plasmei, cât şi procesul de tăiere. Pentru protecția generatorului de plasmă şi a materialului piesei de tăiat se recomandă utilizarea gazelor inerte monoatomice, cum ar fi argonul (tensiunea de ionizare 15,8V) sau heliul (tensiunea de ionizare 24,6V).

Gazele monoatomice sunt mai scumpe decât cele biatomice (azotul - tensiunea de ionizare 13,6V sau hidrogenul - tensiunea de ionizare 14,6V), dar asigură o protecție mai bună generatorului de plasmă, transferă o cantitate de căldură mai mică de la generator la piesă, la o tensiune a plasmei mai mică decât în cazul utilizării gazelor biatomice.

Gazele biatomice sunt mai ieftine, nu asigură o protecție completă pentru generator şi piesă, dar prin cantitatea crescută de căldură ce o pot transmite permit mărirea vitezei de tăiere, reducând extinderea zonei influențate termic în piesa de tăiat. Uzual se lucrează cu amestecuri de gaze mono şi biatomice sau numai cu gaze biatomice.

Parametrii de proces la tăierea cu plasmă sunt:

- viteza de tăiere v;
- curentul plasmei I_p;
- tensiunea plasmei U_a;
- amestecul de gaze plasmagen;
- debitul de gaze D;
- poziționarea generatorului față de piesa de tăiat.

Determinarea vitezei de tăiere v se face pornind de la ecuația de bilanț energetic al procesului de tăiere prin topire, rezultând expresia:

$$v = \frac{\eta \cdot U_a \cdot I_p}{b \cdot s \cdot c \cdot \gamma \cdot t_{top}} \quad . \tag{11.4}$$

unde: b – lățimea medie a tăieturii; s – grosimea piesei de tăiat; c – căldura specifică a materialului de tăiat; γ – masa specifică a materialului de tăiat; t_{top} – temperatura de topire a materialului de tăiat; η – randamentul procesului de tăiere.

Viteza de tăiere se optimizează în raport cu scopul urmărit, utilizându-se:

- v_E , pentru obținerea unor fețe paralele ale tăieturii;
- v_N, pentru obținerea unei calități foarte bune a suprafețelor tăieturii, fără picături solidificate la partea inferioară;
- v_L, viteza limită.

Între acestea există o condiție de forma:

$$v_E < v_N < v_L \, , \tag{11.5}$$

Valoarea curentului plasmei I_p se determină în raport cu parametrii geometrici ai piesei de tăiat (b, s), cu viteza de tăiere v şi cu debitul de gaze D.

Valoarea tensiunii arcului de plasmă U_a se determină în raport cu natura gazelor plasmagene (mai mare la gazele biatomice), tensiunea de ionizare a gazului (direct proporțional) şi cu debitul de gaze *D*.

Valoarea curentului plasmei I_p şi tensiunea arcului de plasmă U_a determină tipul generatorului utilizat.

Tăierea cu plasmă în apă (plasmă injectată în apă) este un procedeu modern, de înaltă performanță (viteză de tăiere de până la 6 ori mai mare față de procedeul clasic cu plasmă în aer), care reduce poluarea prin eliminarea emanațiilor în atmosferă, şi conferă o calitate mai bună a marginilor decât procedeul clasic. Procedeul poate fi aplicat numai pentru grosimi de până la 50 mm la piesele din oțel.

Capetele de tăiat cu plasmă se montează pe maşini de tăiat cu comandă numerică, similare celor folosite la tăierea cu flacără.

11.3.4. Tăierea cu laser

Procesul este similar sudării cu fascicol laser; pentru tăiere se folosesc instalații de puteri mai mari, care generează energii mai ridicate decât la sudare. Fasciculul de lumină coerentă puternic focalizat (*Light Amplificated by Stimulated Emission of Radiation*) cedează o mare cantitate de energie la contactul cu suprafața piesei, producând topirea şi vaporizarea materialului. Spotul luminos tipic pe suprafața piesei este de 25-50 μm. Densitatea de energie pe suprafața spotului este de ordinul milioanelor de waţi pe centimetru pătrat. Procedeele de tăiere pot asocia arderea materialului, prin suflarea de oxigen pentru accelerarea tăierii (procedeul oxi-laser) sau o atmosferă inertă pentru îmbunătățirea calității suprafeței tăiate (procedeul gaz inert-laser). În ambele situații jetul de gaz are şi rolul de a îndepărta produşii de topire.

Prelucrările cu laser se utilizează pentru obținerea unor precizii ridicate sau microprelucrări, în situații dificil de rezolvat prin prelucrări convenționale. De exemplu, găuri sub 3 mm de lungime mare, decupări de profile complexe, prelucrări în materiale dure şi extradure, calibrarea componentelor electronice, gravarea microcircuitelor electronice sunt numai câteva dintre multiplele utilizări ale tăierii cu fascicul laser.

Prelucrarea cu laser are avantajul că se face fără contact, putându-se prelucra zone greu accesibile ale piesei, prin medii transparente, în atmosferă diversă, iar zona influențată termic este foarte îngustă şi localizată. Capetele de tăiat cu laser se montează pe maşini cu comandă numerică, care asigură poziționarea rapidă şi extrem de precisă a sculei în raport cu piesa.

Performanțele procedeului:

- precizie ridicată;
- rosturi foarte mici (0,1- 0,6 mm);
- zonă influențată termic extrem de îngustă;

- deformații termice extrem de mici;
- calitate foarte bună a marginilor, nu mai necesită prelucrări ulterioare de finisare;
- se pot tăia table de oțel moale de până la 20 mm grosime.

Parametrii tehnologici pentru tăierea cu un laser cu CO_2 din clasa 1 000W sunt exemplificați în tabelul 11.1.

Tabelul 11.1. *Parametri tehnologici pentru tăierea cu laser*

Materialul	Grosimea [mm]	Puterea [W]	Viteza [m/min]	Rostul [mm]
Oțeluri carbon de construcție	1	500	5,5	0,15
	2		2,5	
	4		1	0,25
	6		0,4	0,35
	8	1 000	1	0,4
Oțeluri călibile	6	1 000	1,2	0,3
Oțeluri de îmbunătățire	6	1 000	0,8	0,35
Oțeluri aliate	4	1 000	1,4	0,3
Aluminiu	2	1 250	2	0,3
Cupru	0,5	600	1	0,2
Ceramică	2	150	0,04	0,25
ABS	4	500	1,5	0,4
Polimetilacrilat	15	500	0,6	0,8
Folii metalizate	0,05	700	600	0,15
Aramidă	1	1 000	100	0,2
	5	500	2,5	0,35
Lemn	5	500	4	0,35
Carton	7	50	1,5	0,4

11.3.5. Tăierea cu fascicul de electroni

Procesul este similar sudării cu fascicul de electroni. Un fascicul de electroni cu viteză mare este focalizat punctual ($0,32 \times 0,64$ mm^2) pe suprafața piesei de tăiat, având ca efect încălzirea intensă a materialului piesei, topirea şi vaporizarea acestuia. În cazul tăierii se utilizează puteri şi viteze mai mari ale fasciculului (15 MW/mm^2), iar procesul necesită o incintă vidată.

Tăierea cu fascicul de electroni se aplică materialelor metalice (oțeluri aliate, inox, molibden, nichel, cobalt, titan, wolfram şi aliajelor acestora) şi nemetalice (materiale compozite, ceramice, mase plastice, cuarț, safire şi rubine sintetice). Prelucrarea cu fascicul de electroni este proprie mecanicii fine, permițând realizarea găurilor de diametre mici în piese de grosimi reduse. Ea se recomandă a fi utilizată ca alternativă la prelucrările prin electroeroziune şi la cele electrochimice. De exemplu: găuri de 0,013 mm în piese de 0,025 mm grosime, găuri având raportul dintre lungime şi diametru de la 10, 20 şi până la maximum

200 mm se pot realiza prin acest procedeu. Grosimea maximă a pieselor nu trebuie să depăşească 6,4 mm.

Procedeul prezintă avantajul unei zone influenţate termic înguste (0,25 mm).

Se recomandă următoarele măsuri constructive pentru piesele prelucrate cu fascicul de electroni:

- piesele de prelucrat trebuie să fie de dimensiuni reduse (pentru a încăpea în incinta vidată); se preferă un ansamblu din mai multe componente – care să includă piesa prelucrată (de gabarit minim) în locul unei singure piese de mari dimensiuni;

- raza minimă pentru colţurile interioare este de 0,25 mm;

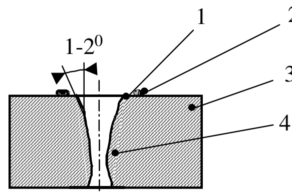


Fig. 11.5. Defecte caracteristice prelucrării cu fascicul de electroni:
1 - crater generat la intrarea fascicolului în piesă; 2 - stropi; 3 - piesă; 4 - zona influenţată termic.

- în cazul găurilor străpunse, grosimea maximă a peretelui piesei nu trebuie să depăşească 6,4 mm; neregularităţile şi defectele de suprafaţă cresc de la grosimi mai mari de 0,13 mm (figura 11.5);

- dacă defectele induse de tăierea cu fascicol de electroni nu sunt admise, atunci trebuie să se prevadă adaos de prelucrare pentru finisare.

Câteva rezultate experimentale se prezintă în figurile 11.6 şi 11.7.

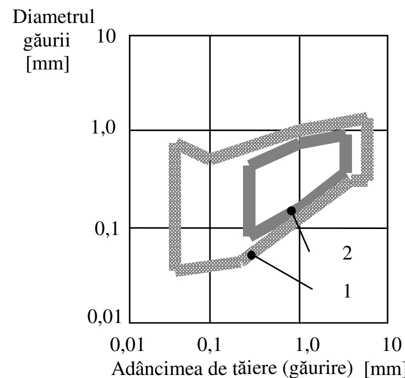


Fig. 11.6. Utilizările tăierii cu fascicul de electroni:
1 – domeniul lărgit; 2 – aplicaţii industriale.

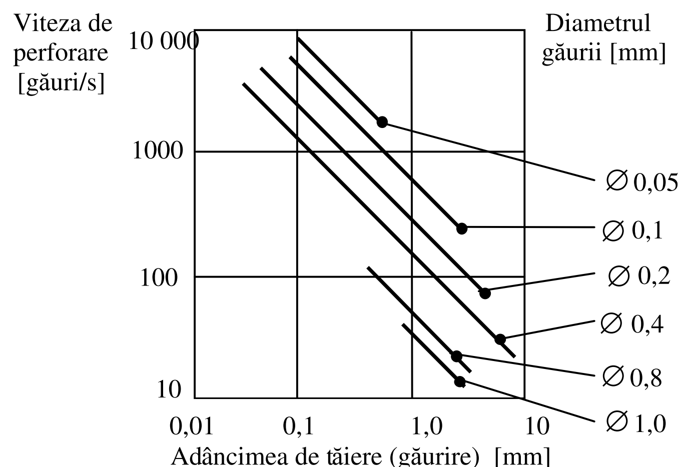


Fig. 11.7. Viteza de perforare cu fascicul de electroni.

11.4. DEBAVURAREA TERMICĂ

Debavurarea termică este un procedeu modern, de mare randament, care se poate aplica pieselor din metal de dimensiuni medii cu configuarație complexă, în producția de serie mare şi masă.

Procedeul este relativ simplu: piesele se introduc într-o incintă blindată, izolată de exterior, în care se realizează o atmosferă controlată compusă dintr-un amestec de gaze inflamabile, unde aprinderea şi explozia este declanşată în urma unei descărcări electrice.

Unda de şoc creată de suprapresiunea gazelor şi de propagarea flăcării duce la ruperea şi arderea bavurilor. Datorită duratei extrem de scurte a arderii, cantitatea de căldură cedată pieselor este foarte mare, la nivelul bavurilor – 3 300 ^{0}C (interioare sau exterioare) şi cu mult mai mică la nivelul peretelui piesei – maximum 95^{0}C.

Parametrii procesului tehnologic sunt: puterea exploziei, viteza şi accelerația undei de şoc şi poziția pieselor. Prin reglarea puterii exploziei se poate optimiza procesul, astfel încât să se obțină un efect preponderent termic, cu o solicitare redusă a pieselor.

Dacă solicitarea generată de unda de şoc a exploziei este importantă, procedeul poate constitui şi o testare a rezistenței pieselor.

Performanțele procedeului: debavurarea a 800 piese pe oră; rotunjirea muchiilor la 0,05 - 0,5 mm, rugozitatea suprafețelor 1,5 - 1,3 μm, îndepărtarea materialului se face exclusiv din zona muchiilor, se pot elimina atât bavurile exterioare, cât şi cele interioare.

11.5. TĂIEREA CU JET DE APĂ

Este un procedeu modern, de mare randament şi precizie, ecologic, care poate fi utilizat pentru tăierea unei game practic nelimitate de materiale metalice şi nemetalice. Procedeul mai este cunoscut şi sub denumirea de *prelucrare hidrodinamică*.

Procedeul se bazează pe efectul eroziv al apei asupra materialelor, amplificat datorită presiunilor şi vitezelor deosebit de mari concentrate pe zone extrem de înguste. Tăierea are loc ca urmare a dezvoltării şi propagării cu viteză foarte mare a microfisurilor de la suprafaţa de contact cu unda de şoc hidraulic spre interiorul materialului, fără a se atinge însă limita de rezistenţă la rupere prin forfecare.

Procedeul utilizează un jet de apă de mare viteză (600 m/s până la Mach 2), la presiune înaltă (70 - 420 MPa), extrem de îngust (0,05 - 1 mm). Materialul este tăiat ca urmare a impactului cu jetul de apă. Procedeul are avantajul că nu modifică structura materialului (cum fac procedeele de tăiere termice – unde apare zona influenţată termic, respectiv cele de tăiere prin deformare plastică – unde apare zona de ecruisare).

Tăierea cu jet de apă se aplică materialelor nemetalice moi (polistiren, poliuretan, cauciuc, gips-carton, carton, hârtie, materiale textile), materialelor anizotrope (materiale compozite polimerice, plăci de tip fagure, plăci sandwich) sau materialelor fragile, dure şi sensiblie la şocuri (plăci de azbest, plăci ceramice, sticlă, roci, betoane).

Forma semifabricatelor tăiate cu jet de apă este în general plană (plăci sau foi care se pot prinde pachet). Tehnica tăierii cu jet de apă mai poate fi aplicată la foraje şi la găurirea rocilor şi a betoanelor.

Schema de principiu a unei instalaţii de tăiat cu jet de apă este prezentată în figura 11.8. Se deosebesc următoarele părţi principale:

- circuitul de joasă presiune cu ulei 10, care cuprinde: rezervorul de ulei 14, pompa 12 cu filtrul 13, distribuitorul 11, etajul de joasă presiune cu ulei hidraulic din amplificatorul hidraulic 3;
- circuitul de înaltă presiune cu apă 1, care cuprinde: circuitul de alimentare 15 a etajului de înaltă presiune cu apă din amplificatorul hidraulic 3; acumulatorul hidraulic 2, supapele de suprapresiune, duza capului de tăiere 4;
- zona de lucru, care cuprinde: capul de tăiere cu duza 4, jetul hidraulic 5, piesa de tăiat 6, masa de poziţionare 7, atenuatorul de zgomot 8, cuva de colectare a produselor de tăiere 9.

Determinarea parametrilor tehnologici la tăierea cu jet de apă se face în felul următor:

- distanţa dintre duză şi suprafaţa piesei, h:

$$h = k_t \cdot d_o \quad , \tag{11.6}$$

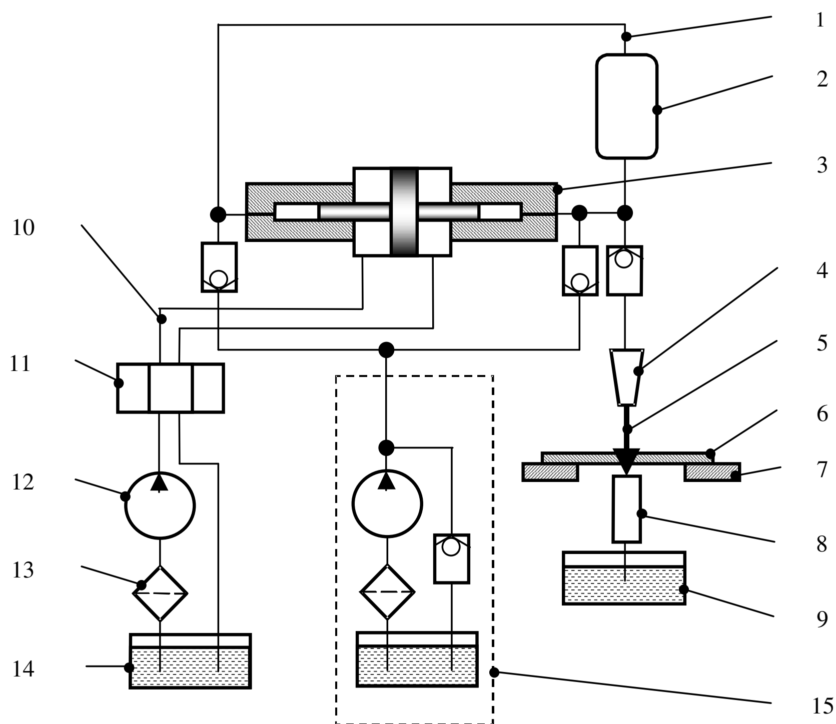


Fig. 11.6. Schema instalației de tăiat cu jet de apă:
1 – circuit de înaltă presiune; 2 – acumulator hidraulic; 3 – amplificator de presiune; 4 – duză;
5 – jet de apă; 6 – piesă; 7 – masă de poziționare; 8 – atenuator de zgomot; 9 – cuvă;
10 – circuit de joasă presiune; 11 – distribuitor; 12 – pompă; 13 – filtru; 14 – rezervor;
15 – circuit de alimentare a etajului de înaltă presiune.

unde: k_t – este un coeficient de corelație între diametrul duzei d_o şi lățimea tăieturii b, determinat experimental:

$$k_t = \frac{b}{d_o};\; k_t \cong 2 \quad , \tag{11.7}$$

unde d_o este diametrul duzei. În practică se ia h = 5 – 10 mm (distanța creşte cu diametrul duzei);

- diametrul minim al duzei, d_o:

$$d_o \geq 2\text{tg}\alpha_1 \cdot (S + h) \quad , \tag{11.8}$$

unde: α_1 – semiunghiul de deschidere a nucleului jetului; S – grosimea materialului de tăiat. Diametrul duzei depinde de grosimea materialului de tăiat (cu creşterea diametrului duzei creşte şi lățimea tăieturii);

- presiunea minimă a jetului pentru tăiere, p_o:

$$p_o = 1{,}93 \cdot \sqrt{\frac{1}{1-\mu^2}} \cdot \sigma_r \quad , \qquad (11.9)$$

unde: μ – coeficientul lui Poisson; σ_r – rezistenţa la rupere a materialului de tăiat;

- viteza de tăiere, v_t:

$$v_t = \frac{\eta_t \cdot c_{fo} \cdot k_v \cdot d_o^2 \cdot p_o \cdot W_o \cdot E}{8 \cdot c \cdot k_p \cdot (1-\mu^2) \cdot \sigma^2 \cdot b \cdot s} \quad , \qquad (11.10)$$

unde: η_t – randamentul procesului de tăiere; c_{fo} – coeficientul de formă a profilului distribuţiei de viteze în secţiunea duzei; k_v – coeficientul de influenţă a formei şi mărimii particulelor de apă; W_o – viteza medie a jetului la ieşirea din duză; E – energia de activare a procesului de fisurare; c – viteza sunetului în apă; k_p – coeficientul de influenţă a formei şi mărimii particulelor de material desprinse prin tăiere.

Tehnologia jetului de apă poate fi utilizată şi la debavurarea pieselor. Performanţele procedeului: secţiunea jetului de apă 0,25 mm, viteza de debavurare 250 mm/s; rotunjirea muchiilor la 0 - 0,13 mm; rugozitatea suprafeţelor 0,8 - 1,3 μm; îndepărtarea materialului se face exclusiv din zona muchiilor.

11.6. NORME SPECIFICE DE PROTECŢIA MUNCII

Având în vedere diversitatea procedeelor tehnologice de tăiere, normele de protecţie a muncii pot fi clasificate în raport cu natura fenomenelor fizico-chimice utilizate şi anume:

- protecţia termică
- protecţia contra electrocutării
- protecţia antiexplozivă
- protecţia antiradiaţii
- protecţia contra şocurilor mecanice
- protecţia contra zgomotelor şi vibraţiilor.

Pentru asigurarea securităţii muncii *la lucrările de tăiere cu flacără de gaze* se prevăd următoarele reguli obligatorii:

- respectarea cu stricteţe a instrucţiunilor şi tehnologiilor de lucru;
- nu se lucrează fără echipament individual de protecţie complet şi în bună stare (ochelari, salopetă, şorţ, mânuşi, bocanci, cască);
- nu se amplasează utilaje şi nu se execută lucrări în locuri cu flăcări descoperite sau în spaţii cu radiaţii calorice intense;
- în cazul utilizării generatoarelor de acetilenă nu se vor utiliza simultan în acelaşi spaţiu închis mai mult de două generatoare;

- zona de lucru nu se amplasează la o distanță mai mică de 10 metri de generatorul de acetilenă sau de buteliile de gaze;
- zona de lucru sau utilajele nu se amplasează în apropierea materialelor sau obiectelor inflamabile, precum şi în locuri aglomerate, nedegajate pe o rază de 5 metri;
- generatoarele de acetilenă nu se amplasează în spații cu temperaturi sub 5^oC;
- nu se aduc în contact circuitele şi buteliile de oxigen, reductoarele de presiune, arzătoarele cu ulei sau unsori; se interzice manevrarea acestora cu mâinile murdare;
- nu se utilizează scule care pot produce scântei şi nu se vor executa manevre care să producă scântei în zona de lucru şi în apropierea buteliilor de gaze sau a generatorului de acetilenă;
- furtunurile de gaze nu se întind în apropierea cablurilor electrice sau a conductelor încălzite;
- verificarea etanşeității circuitelor de gaze se face numai cu soluție de săpun şi în nici un caz nu se va verifica cu flacără;
- nu se utilizează furtunuri de gaze rupte sau reparate cu materiale organice;
- nu se lucrează cu robinete sau regulatoare de presiune defecte;
- transportul buteliilor se face numai cu cărucioare speciale; se va evita cu desăvârşire trântirea buteliilor de gaze;
- la locul de muncă nu se depozitează mai mult de maximum două butelii de oxigen;
- carbidul se depozitează numai în spații uscate, la minimum 50 cm deasupra solului;
- deşeurile de carbid scoase din generator se păstrează în containere speciale sau gropi protejate;
- este interzis lucrul pe schele fără asigurare cu centuri de siguranță.

Pentru asigurarea securității muncii la *lucrările de tăiere cu arc electric* se prevăd următoarele reguli obligatorii:

- respectarea cu strictețe a instrucțiunilor şi tehnologiilor de lucru;
- nu se lucrează fără echipament individual de protecție complet şi în bună stare (ochelari-mască, salopetă, şorț, mânuşi, bocanci, cască);
- legarea la pământ a turor instalațiilor electrice;
- sursele de curent pentru sudare-tăiere nu trebuie lăsate sub tensiune când nu se lucrează; tensiunile de mers în gol nu trebuie să depăşească 110V în curent continuu, respectiv 75V în curent alternativ;
- reglarea capetelor de tăiere se face numai cu instalațiile scoase de sub tensiune;
- nu se utilizează cabluri, borne, cleşti port-electrod cu izolația deteriorată sau degradată;

- nu se fac lucrări de tăiere în zone cu pericol de explozie (în interiorul rezervoarelor, tancurilor, silozurilor etc.);
- nu se fac lucrări în zone cu umiditate excesivă.

Pentru asigurarea securităţii muncii la *lucrările de tăiere cu laser şi fascicul de electroni* se prevăd următoarele reguli obligatorii:
- respectarea cu stricteţe a instrucţiunilor şi tehnologiilor de lucru;
- nu se lucrează fără echipament individual de protecţie, complet şi în bună stare;
- nu se lucrează cu apărătorile sau ecranele de protecţie ale instalaţiilor demontate; se va evita contactul cu fasciculele de radiaţii;
- nu se intră în zona de lucru a instalaţiei când aceasta este în ciclul de lucru automat.

Pentru asigurarea securităţii muncii la *lucrările de tăiere cu jet de apă* se prevăd următoarele reguli obligatorii:
- respectarea cu stricteţe a instrucţiunilor şi tehnologiilor de lucru;
- nu se lucrează fără echipament individual de protecţie, complet şi în bună stare;
- nu se porneşte instalaţia fără a se verifica în prealabil starea etanşărilor, a elementelor de reglare şi de siguranţă, a atenuatoarelor de zgomot;
- instalaţiile de tăiere cu jet de apă se amplasează în spaţii asigurate cu ecrane şi pereţi de protecţie contra şocurilor mecanice şi hidraulice.



RECONDIȚIONAREA ŞI RECICLAREA

13.1. GENERALITĂȚI

Într-o perioadă de criză de materii prime şi energie, când omenirea devine tot mai conştientă de importanța conceptului de *dezvoltare durabilă*, adică de datoria generației actuale de a lăsa şanse de dezvoltare intacte generațiilor viitoare, prin creşterea eficienței utilizării resurselor planetei, prin reducerea poluării şi a deşeurilor, *repararea* şi *recondiționarea* utilajelor, aparatelor şi a produselor, *reciclarea* şi *reutilizarea* materialelor sunt noțiuni extrem de actuale şi de importante pentru inginerul tehnolog.

Ciclul de viață al produsului reprezintă totalitatea activităților legate de durata de existență a produsului. În acesta sunt incluse: extragerea şi obținerea materiilor prime, transportul şi manipularea, momentul realizării fizice a produsului, perioada de funcționare, reparațiile planificate, reparațiile la defectări accidentale, scoaterea din uz, recondiționarea, casarea, recuperarea şi tratarea deşeurilor (fig. 13.1).

Evaluarea ciclului de viață al produsului constituie un instrument de bază în aplicarea standardelor de *management de mediu*, din seria ISO 14000 (ISO 14011 - *Evaluarea ciclului de viață - inventarierea ciclului de viață*; ISO 14042 - *Evaluarea ciclului de viață – evaluarea impactului ciclului de viață*; ISO 14043 - *Evaluarea ciclului de viață – îmbunătățirea ciclului de viață*). Evaluarea ciclului de viață se utilizează pentru evaluarea *impactului global* al produsului asupra mediului, analiza fiind utilă atât proiectantului, cât şi producătorului pentru optimizarea produsului şi a tehnologiilor de fabricație. Multe firme urmăresc

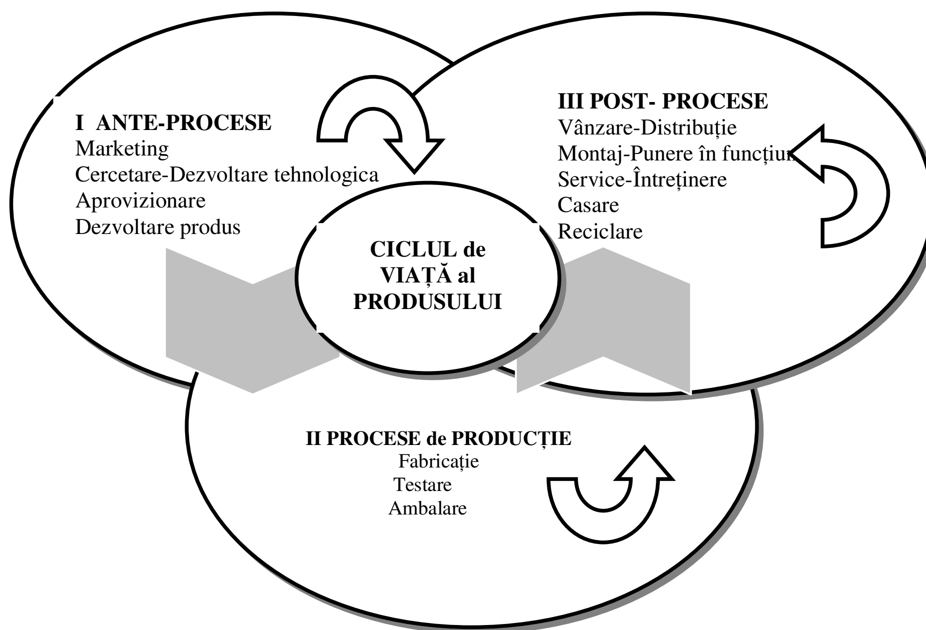


Fig. 13.1. Ciclul de viață al produsului.

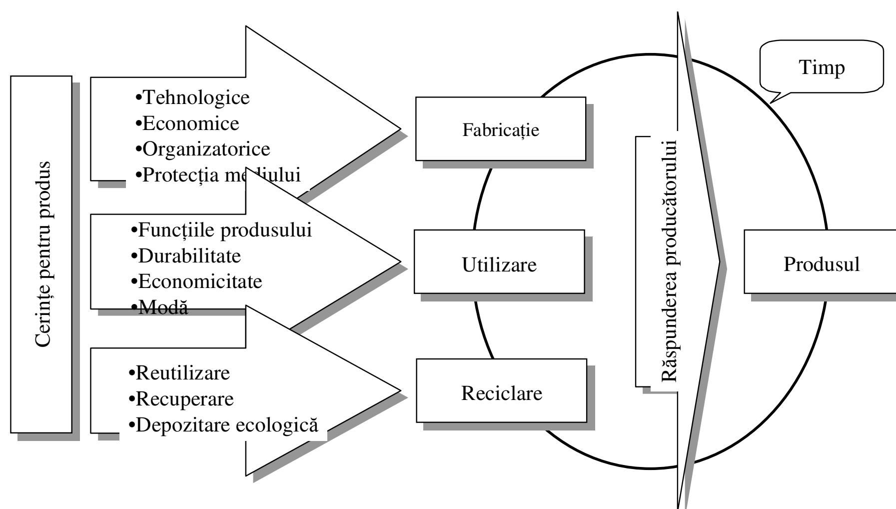


Fig.13.2. Diversitatea cerințelor privind produsul în funcție de ciclul de viață.

întregul ciclu de viață al produselor lor de la materia primă, la fabricație, distribuție, casare, reciclare, recuperare, reutilizare. Firmele utilizează tot mai mult

conceptul de ciclu de viaţă pentru optimizarea deciziilor de afaceri şi a celor referitoare la mediu. Evaluarea ciclului de viaţă contribuie la identificarea stadiilor produsului cu cel mai mare impact asupra mediului. În multe situaţii este posibilă corelarea dintre utilizarea materiilor prime, caracteristicile deşeurilor din producţie şi produsele firmei, în vederea analizării modului de utilizare a resurselor şi a eficienţei proceselor şi a tehnologiilor.

Proiectarea pentru mediu (*Design for environment*) are în vedere conceperea produselor şi proceselor ţinând seama de necesitatea reducerii impactului defavorabil asupra mediului. O proiectare corectă poate scade costurile şi eficientiza procesele.

13.2. MENTENANŢA

În cadrul unei firme, *departamentul de mentenanţă* are menirea de a se ocupa cu menţinerea în funcţiune şi cu gestionarea întregii infrastructuri privind:

- echipamentele de producţie;
- mijloacele de transport intra şi interuzinal;
- halele, clădirile, construcţiile, căile de acces şi terenurile aferente;
- furnizarea şi distribuirea utilităţilor (energie, gaze, abur, aer comprimat, apă potabilă, apă industrială, apă caldă, încălzire, canalizare, salubritate etc.);
- colectarea, evacuarea, depozitarea, tratarea deşeurilor industriale;
- depozitele de materiale, materii prime şi de produse finite;
- garajele şi atelierele de reparaţii;
- proiectarea, fabricarea, gestionarea pieselor de schimb;
- gestionarea arhivei tehnice;
- securitatea firmei, inclusiv paza contra incendiilor;
- protecţia ecologică;
- intervenţia la evenimente şi salvare;
- curăţenia, salubrizarea şi igienizarea tuturor spaţiilor administrate de firmă.

Întreţinerea (*mentenanţa*) este ansamblul acţiunilor care se fac în scopul menţinerii sau restabilirii unui produs într-o stare specificată de utilizare (funcţionare).

Întreţinerea corectivă se face în scopul restabilirii funcţionalităţii unui produs atunci când a intervenit o defectare sau pană. Restabilirea funcţionării poate fi provizorie – *depanare*, sau definitivă – *reparare*. Întreţinerea corectivă nu se desfăşoară planificat, ea fiind un răspuns la o defectare apărută aleator, o intervenţie de urgenţă pentru remedierea unui defect acut.

Întreţinerea preventivă sistematică se face în mod planificat, la perioade fixe de timp de funcţionare, la un anumit număr de kilometri rulaţi (în cazul autovehiculelor), după un anumit număr de ore de zbor (în cazul avioanelor) sau

după un anumit număr de produse fabricate (în cazul instalaţiilor şi utilajelor industriale), în scopul menţinerii parametrilor de funcţionare specificaţi şi a prevenirii apariţiei avariilor. *Întreţinerea preventivă* constă în înlocuirea *pieselor de uzură*, a consumabilelor, în lucrări de curăţire, ungere, reglaj şi de verificare a valorilor parametrilor de funcţionare.

Reviziile tehnice periodice sunt activităţi de întreţinere preventivă. O revizie tehnică include verificarea stării tehnice a produsului, în raport cu specificaţiile (carte tehnică, manual de service, caiet de sarcini etc.), executarea

Tabelul 13.1. *Modul de interpretare a posibilelor defecţiuni pentru un telefon mobil*

Simptomul-efectul	Cauza
Aparatul nu poate fi pornit	Verificaţi acumulatorul: este încărcat, corect instalat, contactele sunt curate şi uscate?
Nu puteţi apela	Verificaţi pe display intensitatea semnalului. Pentru a îmbunătăţi semnalul mergeţi într-un spaţiu deschis sau în apropierea unei ferestre. Verificaţi reţeaua de conectare. Verificaţi harta de acoperire a reţelei. Verificaţi restricţiile de apelare ale telefonului. Verificaţi contul de apeluri rămas. Dacă aveţi o nouă cartelă SIM, verificaţi restricţiile acesteia.
Nu puteţi recepţiona apeluri	Verificaţi pe display intensitatea semnalului. Pentru a îmbunătăţi semnalul mergeţi într-un spaţiu deschis sau în apropierea unei ferestre. Verificaţi setările de redirecţionare a apelului.
Nu puteţi debloca telefonul	Dacă aveţi o nouă cartelă SIM verificaţi codul de acces. Dacă aţi uitat codul, utilizaţi codul de siguranţă şi introduceţi un nou cod de acces.
Cartela SIM nu funcţionează	Verificaţi dacă cartela este corect instalată. Verificaţi dacă microcipul cartelei este integru. Verificaţi contactele de instalare ale cartelei.
Acumulatorul nu se încarcă	Verificaţi adaptorul: este corect conectat, sunt contactele curăţate? Verificaţi contactele acumulatorului. Verificaţi temperatura acumulatorului: dacă este cald, lasaţi-l să se răcească înainte de reîncărcare. Acumulatorul este vechi (capacitatea acumulatorului scade cu vârsta) - înlocuiţi acumulatorul.
Acumulatorul se descarcă mai repede decât în mod normal	Vă aflaţi într-o zonă de acoperire parţială? Acest fapt duce la un consum mai mare. Aveţi un acumulator nou? Este nevoie de un ciclu de trei încărcări-descărcări pentru atingerea caracteristicilor normale. Este un acumulator vechi? Capacitatea acumulatorului scade cu vârsta; înlocuiţi acumulatorul. Nu aţi descărcat complet acumulatorul înainte de a-l reîncărca? Descărcaţi complet acumulatorul – până la oprirea automată a telefonului, apoi reîncărcaţi-l. Verificaţi setările pentru frecvenţa de căutare a reţelei de conectare. Verificaţi dacă nu cumva a fost deconectat modul de economisire a acumulatorului. Utilizaţi telefonul la temperaturi scăzute? La temperaturi extreme, performanţele acumulatorului sunt reduse.

reglajelor necesare atingerii valorilor prescrise pentru parametrii de funcționare optimă. Scopul reviziei este de a menține produsele inspectate într-o stare bună de funcționare, de a preveni apariția unor defecțiuni întâmplătoare, de a verifica situația uzurilor diferențiate, de a pregăti succesul reparației următoare.

Proiectantul trebuie să aibă în vedere posibilitatea întreținerii, depanării şi reparării produsului cu cheltuieli şi efort minim. În acest scop, specificațiile tehnice trebuie să conțină date privind piesele de schimb, zonele critice ale produsului, *modul de interpretare a posibilelor defecțiuni*, modul de depanare şi SDV-urile recomandate în acest scop; (de exemplu, modul de interpretare a posibilelor defecțiuni pentru un telefon mobil se prezintă în tabelul 13.1).

Întreținerea preventivă condiționată constă în restabilirea funcționalității normale a unui produs după apariția unei informații privind ieşirea din parametrii specificați, înainte însă de a se produce defectarea produsului. Întreținerea preventivă condiționată este avantajoasă întrucât previne apariția avariei, semnalând iminența acesteia, fapt ce duce la importante economii de timp şi de cheltuieli. Ori de câte ori este posibil, proiectantul trebuie să aibă în vedere utilizarea de senzori şi mijloace de avertizare care să permită întreținerea preventivă condiționată.

Exemple de senzori utilizați frecvent în supravegherea utilajelor din construcția de maşini:

- senzori de vibrații (accelerometre) pentru sesizarea defecțiunilor la acționările cu mişcare de rotație (pompe, motoare, transmisii, cutii de viteze, mecanisme de rulare) şi în procesele de prelucrare (aşchiere, deformare plastică etc.);
- senzori pentru analiza lubrifianților aflați în utilizare în sistemele de ungere centralizată a maşinilor şi motoarelor (compoziție, densitate, corpuri străine);
- senzori termici pentru preluarea emisiilor în infraroşu şi analiza imaginilor termice a maşinilor, motoarelor, utilajelor, instalațiilor, vehiculelor, clădirilor, construcțiilor etc.;
- senzori termici clasici (termostate, termometre cu contacte, termistori) pentru relee de protecție la suprasarcină, circuite de răcire;
- senzori de presiune (relee de presiune, presostate, manometre cu contacte) pentru supravegherea circuitelor hidraulice şi a instalațiilor cu fluide, a nivelului din tancuri şi rezervoare.

O tendință actuală este monitorizarea funcționării echipamentelor complexe (maşini cu comandă numerică) cu module speciale de diagnostic şi depanare, care pot comunica on-line cu centre externe de service (aflate la mii de kilometri distanță) pentru acordarea asistenței tehnice de specialitate şi comanda pieselor de schimb necesare a fi expediate către utilizatorul maşinii; *e-diagnostic* este denumirea consacrată a diagnosticării on-line, bazată pe utilizarea Internetului. Cu ajutorul unui astfel de sistem de întreținere, repunerea în funcțiune a unei

maşini cu comandă numerică procurată din celălalt capăt al globului se poate face în cel mult 48 de ore.

O dezvoltare foarte actuală a sistemelor de depanare bazate pe utilizarea Internetului este *e-manufacturing*, depanarea on-line, folosită deocamdată numai pentru circuitele semiconductoare.

Lucrările de întreţinere pot fi externalizate din întreprindere şi subcontractate cu firme specializate, aceasta fiind o soluţie modernă, aplicabilă în cazul firmelor mici şi mijlocii care nu îşi pot permite cheltuielile aferente unui compartiment propriu de service uzinal.

Mentenanţa totală a producţiei (***T****otal* ***P****roductive* ***M****aintenance* – TPM) este un concept derivat din *managementul calităţii totale* (***T****otal* ***Q****uality* ***M****anagement* – TQM) care presupune proiectarea şi implementarea unui sistem integrat de întreţinere globală, aplicat la întreaga durată de viaţă a unui produs, echipament, linie tehnologică, flux de fabricaţie, organizaţie. TPM are drept scop creşterea eficienţei economice şi a capabilităţii proceselor şi organizaţiilor de a răspunde cerinţelor pieţei în condiţii de competitivitate.

Efectele aplicării TPM:

- scurtarea termenelor prin eliminarea opririlor accidentale şi a intervenţiilor de urgenţă;
- reducerea cheltuielilor prin reducerea stocurilor de siguranţă, a intervenţiilor de urgenţă şi a orelor suplimentare pentru recuperarea întârzierilor;
- îmbunătăţirea productivităţii prin funcţionarea dotărilor la regimul proiectat, în condiţii de siguranţă şi eficienţă;
- încrederea internă în menţinerea condiţiilor optime de muncă prin supravegherea şi controlul asupra dotărilor organizaţiei;
- încrederea externă în capabilitatea organizaţiei producătoare de bunuri şi furnizoare de servicii prin supravegherea şi controlul proceselor şi echipamentelor;
- încrederea în respectarea standardelor de mediu prin controlul asupra deşeurilor şi prevenirea avariilor.

Manualul de mentenanţă al produsului/familiei de produse (manualul de întreţinere/depanare) se întocmeşte pentru produsele complexe cu scopul de a furniza personalului de specialitate toate procedurile de intervenţie asupra produsului. Multe produse complexe au manuale separate de mentenanţă/service şi de utilizare.

Manualul de mentenanţă al firmei descrie toate activităţile şi procedurile specifice compartimentului de mentenanţă. Manualul este documentul de referinţă al firmei pentru mentenanţă.

Existenţa manualului de mentenanţă conduce la ordonarea strictă a activităţilor, la creşterea calităţii şi a eficienţei acestora, precum şi la instruirea eficientă a personalului de specialitate.

13.3. REPARAREA. TEHNOLOGII DE REPARARE

Repararea constă în intervenția asupra produsului aflat în utilizare cu scopul readucerii acestuia în parametrii de funcționare specificați. După un anumit număr de ore de funcționare, o serie de piese şi subansambluri ale produsului ajung la limita de uzură admisibilă şi nu mai asigură precizia sau parametrii de funcționare normală specificați; în această situație produsele trebuie oprite din funcționare şi readuse prin reparare la parametrii specificați.

Posibilitatea de reparare a produsului se prevede încă din faza de concepție – proiectare. Produsul trebuie proiectat astfel încât să permită intervenții ulterioare de întreținere, pentru menținerea în funcționare, respectiv de înlocuire a pieselor de uzură sau defecte.

Reparabilitatea este caracteristica ce descrie capacitatea unui produs de a fi reparat (*tehnologicitatea reparării* produsului respectiv). Tehnologicitatea reparării poate fi evaluată cantitativ prin indicii următori:

- *indicele tehnologicității de demontare* $i_{th,d}$ este dat de raportul dintre volumul de muncă necesar pentru demontarea produsului V_{md} şi volumul de muncă necesar pentru montarea aceluiaşi produs V_{mm}, adică:

$$i_{th,d} = \frac{V_{md}}{V_{mm}} \; ; \tag{13.1}$$

- *indicele de deteriorare a pieselor la demontare* i_{dd} este dat de raportul dintre numărul pieselor deteriorate la demontarea produsului n_{pd} şi numărul total de piese care compun produsul n_p, adică:

$$i_{dd} = \frac{n_{pd}}{n_p} \; ; \tag{13.2}$$

- *indicele de reutilizare a pieselor* i_{rp} este raportul dintre numărul pieselor refolosite la produsul reparat n_{pr} şi numărul total de piese care compun produsul n_p, astfel:

$$i_{rp} = \frac{n_{pr}}{n_p} \; ; \tag{13.3}$$

- *indicele de rentabilitate* i_{rep} exprimă raportul dintre numărul total de piese refolosite la toate reparările efectuate asupra produsului şi numărul de piese refolosite la produsul reparat, astfel:

$$i_{rep} = \frac{\sum n_{pr} \cdot n_r}{\sum n_{pr}} \; ; \tag{13.4}$$

- *indicele de multiplicitate al duratei de lucru a pieselor* i_{mq} exprimă raportul dintre numărul de piese a căror durată de lucru poate fi multiplicată (extinsă prin reparare-recondiționare) n_{mq} şi numărul total de piese care compun produsul, n_p, adică:

$$i_{mq} = \frac{n_{mq}}{n_p} \; ; \tag{13.5}$$

- *indicatorul tehnologicității reparării pieselor* i^p_{thr} evaluează cantitativ eficiența procesului de reparare a unui produs în scopul argumentării unei soluții de recondiționare, adică:

$$i^p_{thr} = P_b + P_r \cdot \frac{\left(\sum_{i=1}^{m} V^b_{mi} \cdot k^b_{ci} \right) \cdot k_u \cdot k_{ec}}{\sum_{i=1}^{m} V^b_{mi} \cdot k^b_{ci} + \sum_{j=1}^{n} V^{aj}_{mj} \cdot k^{aj}_{cj}} \; , \tag{13.6}$$

unde: P_b este probabilitatea ca piesa componentă a produsului intrat în reparație să fie bună şi este dată de relația:

$$P_b = \frac{n_b}{n_p} \; , \tag{13.7}$$

iar P_r este probabilitatea ca piesa componentă a produsului intrat în reparație să necesite recondiționarea sau înlocuirea, dată de relația:

$$P_r = \frac{n_{rc}}{n_p} \; , \tag{13.8}$$

în care: n_b este numărul de piese componente bune; n_{rc} - numărul de piese componente care necesită recondiționarea sau înlocuirea; n_p - numărul total de piese componente; m - numărul operațiilor de bază pentru restabilirea capacității de lucru a pieselor; n - numărul operațiilor ajutătoare pentru restabilirea capacității de lucru a pieselor; V^b_{mi} - volumul de muncă care trebuie efectuat în cadrul operațiilor de bază, i; V^{aj}_{mj} - volumul de muncă care trebuie efectuat în cadrul operațiilor ajutătoare, j; k^b_{ci} - un coeficient care ia în considerare calificarea necesară a lucrătorului pentru efectuarea operațiilor de bază, i; k^{aj}_{cj} - un coeficient care ia în considerare calificarea necesară a lucrătorului pentru efectuarea operațiilor ajutătoare j; k_u - un coeficient care ia în considerare complexitatea produsului reparat; k_{ec} – un coeficient care ia în considerare eficiența economică a procesului de reparare.

Eficienţa reparării, dacă un produs trebuie să fie conceput pentru reparare sau nu, dacă trebuie să fie prevăzute sau nu *piese de schimb* (şi care sunt *piesele de schimb)*, este o decizie care se ia în faza de concepţie a produsului.

De regulă, produsele complexe şi scumpe, sunt prevăzute pentru a fi reparate. Dimpotrivă, produsele simple, a căror producţie e complet automatizată şi, în consecinţă au un preţ redus, sunt prevăzute a fi înlocuite. În acest ultim caz, se pune problema reciclării materialelor şi a reducerii influenţei defavorabile asupra mediului.

Un caz aparte este constituit de produsele de larg consum de tipul telefoanelor mobile, a căror dezvoltare este într-o dinamică deosebită, o dată cu dezvoltarea tehnologică. Astfel de produse au o rată ridicată de înlocuire, dată de uzura morală. Competiţia acerbă de pe piaţă impune menţinerea unor productivităţi ridicate şi a unor cheltuieli de producţie minime. Acest fapt se reflectă asupra concepţiei acestei categorii de produse. Ele nu sunt reparabile sau recondiţionabile, singurele tehnologii puse la punct pentru tratarea telefoanelor mobile scoase din uz sunt cele de reciclare a materialelor componente.

Repararea poate fi *planificată*, când este prevăzută în planul de întreţinere şi reparaţii, sau *neprevăzută*, când se execută ca răspuns la defectări accidentale.

Fiecare maşină şi utilaj conţine piese şi subansambluri care după un anumit număr de ore de funcţionare ating limita de uzură admisibilă, moment la care se impune execuţia unei *reparaţii planificate* pentru repunerea maşinii în parametrii de funcţionare specificaţi. Momentul atingerii limitei de *uzură admisibilă* este diferit pentru fiecare componentă în parte, unele uzându-se mai repede, altele mai lent. În funcţie de momentul atingerii limitei de uzură admisibilă, se disting următoarele tipuri de reparaţii (fig. 13.3):

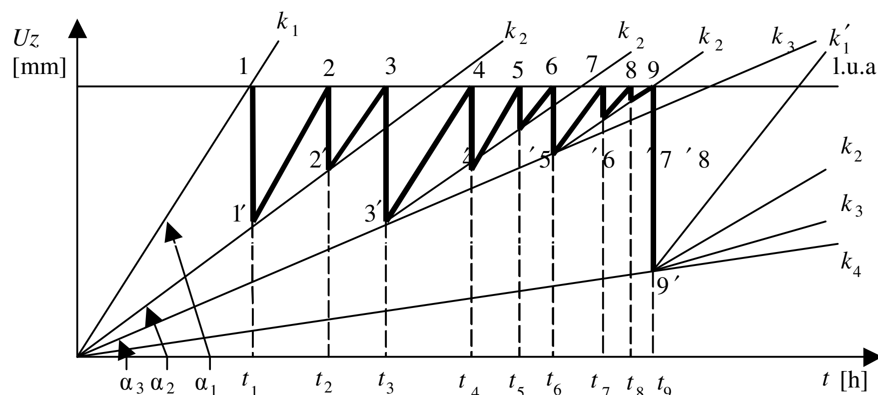


Fig. 13.3. Eşalonarea reparaţiilor: l.u.a. – limita de uzură admisibilă; k_1; α_1 – uzarea rapidă; k_2; α_2 – uzarea medie; k_3; α_3 – uzarea lentă; k_4 – uzarea remanentă; 1′-2; 2′-3; 3′-4; 4′-5; 5′-6; 6′-7; 7′-8; 8′-9 – uzare rapidă (paralele la k_1); momentul reparaţiiilor: t_1; t_2; t_4 t_5 – reparaţii R_{c1}; t_3; t_6; t_7; t_8 – reparaţii R_{c2}; t_9 – reparaţie capitală R_k.

- reparații curente R_{c1} pentru compensarea uzării rapide;
- reparații curente R_{c2} pentru compensarea uzării medii;
- reparații capitale R_k pentru compensarea uzării lente.

Uzura limită admisibilă poate fi atinsă de fiecare din tipurile de viteze de uzare k_1 – k_3 după un anumit număr de ore de funcționare a maşinii. Pornind din momentul t_0 al punerii în funcțiune al maşinii se atinge l.u.a. pe dreapta k_1 în momentul t_1 al primei reparații curente, R_{c1}, în punctul 1. În acelaşi timp au progresat şi uzurile medii şi lente (dreptele k_2 şi k_3), fără însă a se atinge valoarea limită. Eliminând prin reparație uzurile rapide corespunzătoare punctului 1 se reduce gradul de uzură al maşinii la punctul 1′ de pe dreapta k_2, corespunzătoare uzurii medii, maşina continuând să funcționeze cu unele piese care prezintă viteze medii de uzare, care nu au atins valoarea l.u.a. După reparație, uzurile rapide se manifestă din nou (segmentul de dreaptă 1′- 2 paralel cu k_1). La momentul t_2 se atinge valoarea limită în punctul 2, fiind necesară o nouă reparație R_{c1}, maşina fiind repusă în funcțiune cu un grad de uzură mediu al unor piese în punctul 2′ de pe dreapta k_2, sub limita admisibilă. Ciclul se repetă analog până la momentul t_3, când şi valoarea corespunzătoare uzurii medii atinge limita admisibilă şi în acest moment se execută reparația R_{c2} pentru eliminarea efectelor uzurii medii. Analog se execută reparațiile R_{c1} la momentele t_4, t_5, respectiv reparația R_{c2} la momentul t_6, reparațiile R_{c1} la momentele t_7 şi t_8 şi reparația capitală, R_k la momentul t_9, când a fost atinsă limita admisibilă şi de către uzurile lente. O parte din piese nu este rentabil să fie înlocuite nici la reparația capitală, având încă suficientă rezervă de funcționare, deoarece evoluția uzurii acestora se face după dreapta k_4, *uzura remanentă*.

Uzura remanentă se manifestă la nivelul pieselor de bază ale maşinii, conducând în final la scoaterea definitivă din uz a maşinii.

Din figura 13.3 rezultă structura unui *ciclu complet de reparații*: mai multe reparații curente de gradul I şi II, urmate de o reparație capitală. În mod normal, *durata de serviciu* a unei maşini cuprinde mai multe astfel de cicluri complete de reparații, care trebuie prevăzute de proiectantul maşinii şi înscrise atât în documentația de exploatare, cât şi în cea de service a produsului. La rândul său, utilizatorul produsului trebuie să planifice reparațiile şi să țină seama de planul de reparații la elaborarea planului de producție.

Necesitatea stabilirii şi menținerii ordinii în ceea ce priveşte scoaterea din circuitul productiv al maşinilor (produselor) pentru întreținere şi reparații a condus, în economia centralizată (înainte de 1989), la elaborarea unor sisteme de planificare a reparațiilor bazate pe norme tehnice unificate la nivel de firmă, ramură industrială, economie națională. Un astfel de *sistem de reparații planificate* trebuie să asigure:

- oprirea maşinilor în vederea reparației planificate după un anumit număr de ore de funcționare, înainte de atingerea limitei de uzură admisibilă;
- planificarea reparațiilor conform ciclului, în raport cu vitezele diferite de

uzare ale componentelor produsului;

- volumul lucrărilor care urmează a fi executate în cadrul unui anumit tip de reparaţii trebuie să elimine efectele tuturor proceselor de uzare ajunse la limita admisibilă, astfel încât să permită funcţionarea maşinii în parametrii optimi până la reparaţia următoare;
- în intervalele dintre reparaţiile planificate trebuie prevăzute *revizii* – incluse de asemenea în planul de reparaţii – prin care se verifică starea tehnică a produsului, se remediază o serie de dereglări constatate (de exemplu, jocuri mărite în ajustaje) se completează o fişă de constatare utilă pentru pregătirea reparaţiei planificate următoare.

Pentru menţinerea un timp cât mai îndelungat în funcţionare a produselor şi conservarea capabilităţii acestora, pe lângă întreţinerea planificată trebuie executate lucrări zilnice de către personalul de exploatare, astfel încât să se asigure:

- exploatarea raţională a maşinilor şi utilajelor, la regimurile optime prescrise, fără suprasarcini, respectându-se strict procedurile de lucru şi *disciplina tehnologică*;
- îngrijirea şi curăţirea zilnică a maşinilor, la sfârşitul fiecărui schimb;
- folosirea strictă a consumabilelor recomandate de constructorul produsului (lichide de răcire şi ungere, combustibil, lubrifianţi – pentru maşini; toner, hârtie – pentru copiatoare şi imprimante etc.);
- supravegherea funcţionării corecte şi semnalarea imediată a oricăror simptome de defectare (zgomote, vibraţii, miros, scăderea preciziei pieselor executate pe maşină).

Normativele tehnice de reparaţii conţin:

- grupa de maşini şi utilaje pe ramuri de activitate;
- durata de serviciu normată;
- numărul de schimburi de lucru;
- periodicitatea reparaţiilor şi a reviziilor tehnice;
- timpul de imobilizare în reparaţii sau revizii tehnice;
- costul maxim al reparaţiilor exprimat în procente din *valoarea de înlocuire* a fondului fix (de exemplu, pentru maşini-unelte o reparaţie capitală nu trebuie să depăşească 60%, în caz contrar şi dacă se are în vedere şi recondiţionarea maşinii, costul modernizării trebuie suportat din fondul de investiţii).

Valoarea de înlocuire este valoarea unui produs nou similar celui existent, având aceeaşi funcţionalitate, considerat la preţul pieţei.

Prin implementarea normativelor se are în vedere, pe de o parte, executarea de *reparaţii de calitate* corespunzătoare, la termen; pe de altă parte, *eficienţa economică a reparaţiei*, care trebuie să se încadreze în limita maximă din valoarea de înlocuire prevăzută, pentru a se putea deconta reparaţia din *fondul de reparaţii*.

În condiţiile unei *economii descentralizate*, cu o multitudine de forme de proprietate şi cu concurenţă liberă pe piaţă, rolul statului este restrâns. În această situaţie, normele de reparaţii pot fi utilizate la nivelul firmelor, acestea având o

libertate deplină în alegerea modelului de gestionare a fondurilor fixe de care dispun. Planificarea reparațiilor face parte din managementul organizației respective.

În domenii de interes general, cu impact global, cum ar fi de exemplu, autovehiculele, legislația referitoare la siguranța circulației prevede între cerințele de înscriere în circulație *revizia tehnică obligatorie*, efectuată de către firme acreditate de către Registrul Auto Român, organismul național de certificare în domeniu.

Procesul tehnologic de reparare (fig. 13.4) cuprinde totalitatea lucrărilor şi operațiilor care se execută pentru repararea unei maşini, incluzând:

- pregătirea de fabricație;
- producerea anticipată a pieselor de schimb;
- aducerea maşinii în secția de reparații;
- demontarea maşinii, a ansamblelor şi subansamblelor, cu marcarea ordinii demontării acestora ;
- curățirea pieselor demontate;
- inspectarea pieselor şi constatarea defectelor;
- sortarea pieselor;
- stabilirea dimensiunilor pieselor care se recondiționează şi a celor care se execută din nou, ținând seama de compensarea uzurii;
- executarea pieselor;
- ajustarea şi montarea pieselor pe maşină;
- reglarea pieselor şi subansamblurilor pe maşină;
- vopsirea maşinii;
- rodajul maşinii;
- testarea maşinii în vederea recepției;
- recepția maşinii la producător;
- transportul şi instalarea maşinii;
- repunerea în funcțiune;
- recepția la beneficiar.

Pentru fiecare tip de maşină şi tip de reparație în parte se stabileşte câte un *proces tehnologic tip*. Diagrama procesului tehnologic trebuie să conțină ordinea de demontare şi piesele care se demontează, pentru a se evita demontările care nu sunt necesare. Procesul tehnologic de reparare este asemănător procesului de fabricație a produsului (ordinea de demontare e inversă ordinii de montaj, execuția pieselor de schimb este identică cu a pieselor originale, rodajul şi testarea produsului sunt identice). Principalele deosebiri între fabricația inițială şi reparare (*refabricație*) sunt:

- modul de demontare depinde de tipul şi de starea asamblărilor (gradul de coroziune, de uzură, de curățire);
- SDV-urile recomandate de constructor. Nu întotdeauna se utilizează aceleaşi tipuri de scule ca pentru montarea inițială. Deoarece caracterul producției

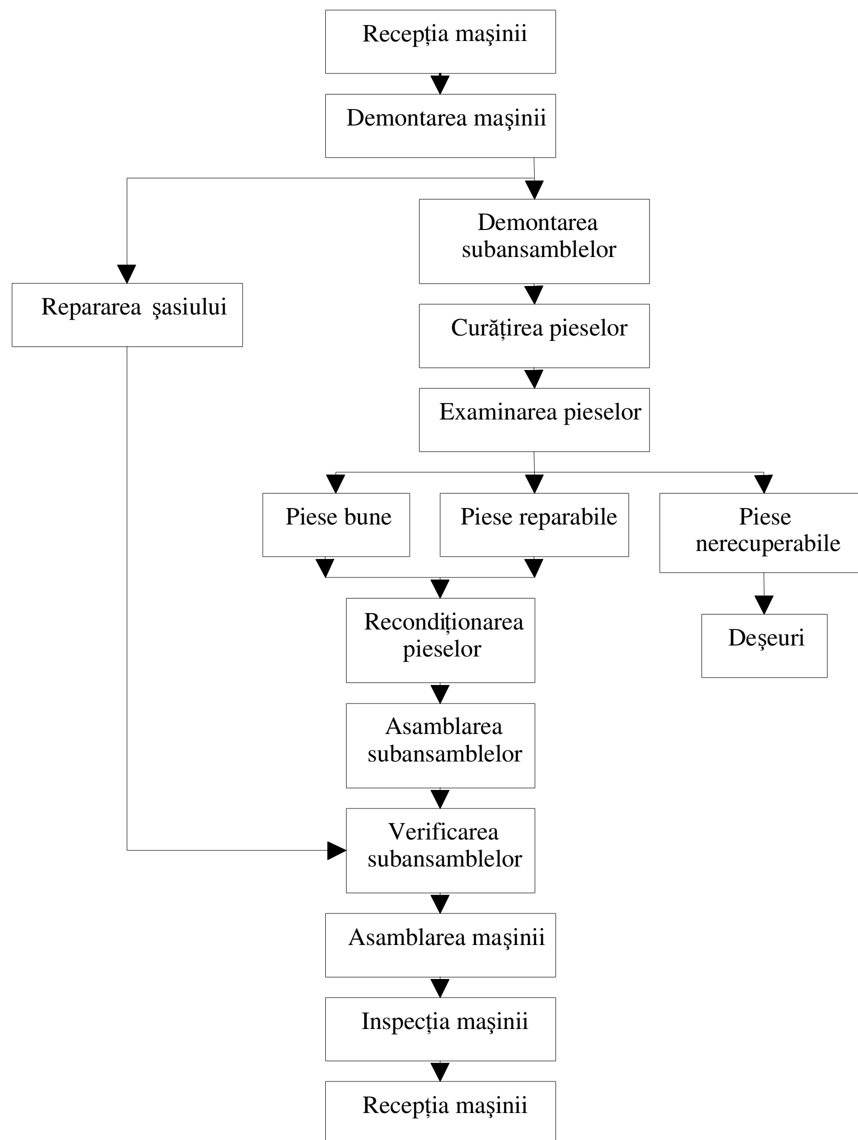


Fig. 13.4. Procesul tehnologic al unei reparaţii capitale.

de reparare nu este uniformă, la demontare se folosesc scule universale;

- uniformitatea producţiei. Fabricaţia iniţială se face în serie mare şi masă, iar repararea se face în serii mici, uneori unicate, cu o mare diversitate de tipuri constructive, fapt ce implică o calificare superioară a lucrătorilor.

Proiectul de reparaţie cuprinde documentaţia constructivă şi tehnologică, inclusiv pregătirea de fabricaţie şi planul de control, necesară pentru executarea lucrărilor de reparaţii pentru un produs. Pentru creşterea eficienţei, ori de câte ori este posibil se va aborda produsul şi componentele sale din perspectiva conceptului de tip (tipizarea constă în integrarea produselor în familii de piese, care permite stabilirea de tehnologii de grup, acest lucru permiţând obţinerea de economii de timp şi costuri prin simplificarea proiectelor, identificând şi refolosind cât mai multe din elementele comune).

Calculul dimensiunilor de reparaţie face parte din elaborarea proiectului de reparaţie. Determinarea dimensiunilor piesei uzate sau avariate care trebuie înlocuite prin reparaţie este necesară când nu există desenul de execuţie al acesteia în cartea tehnică a maşinii sau în dosarul acesteia, întocmit cu ocazia reparaţiilor anterioare.

În cazul pieselor individuale, care nu formează ajustaje, pe desenul de execuţie se înscriu cotele dimensiunilor iniţiale (ale piesei noi), determinate din cota măsurată plus cota corespunzătoare materialului îndepărtat prin degradare (uzare, coroziune).

În cazul pieselor care formează ajustaje se poate utiliza sistemul de *cote de reparaţie*, care ţine seama de uzura ambelor piese ale asamblării (arbore-alezaj). Cotele de reparaţie *sunt diferite* de dimensiunile iniţiale ale piesei noi. Dimensiunile de reparaţie pot fi standardizate, fapt ce permite fabricarea anticipată şi *interschimbabilitatea* pieselor respective (sistemul se aplică curent la piese de motoare: pistoane, segmenţi, bolţuri, cuzineţi).

Dimensiunile de reparaţie se calculează luând în consideraţie uzura maximă şi adaosul de prelucrare, astfel:

- pentru arbori cu uzură neuniformă, diametrul de reparaţie, d_r, este:

$$d_r = d_i - 2(U_{max} + A_p) \quad , \tag{13.9}$$

în care: d_i este diametrul iniţial; U_{max} – uzura radială maximă; A_p - adaosul de prelucrare.

Uzura radială totală a arborelui, U_t, este dată de relaţia:

$$U_t = d_i - d_u = U_{min} + U_{max} \quad , \tag{13.10}$$

în care: d_i este diametrul iniţial d_u - diametrul zonei uzate şi U_{min} - uzura radială minimă a arborelui

Prima dimensiune de reparaţie a arborelui d_{r1} se calculează cu relaţia:

$$d_{r1} = d_i - 2(U_{max} + A_p) = d_i - 2(\delta_1 U_t + A_p) \, , \tag{13.11}$$

în care δ_1 este neuniformitatea uzurii şi se calculează cu relaţia:

$$\delta_1 = \frac{U_{\max}}{U_t} \quad . \tag{13.12}$$

Intervalul de reparaţie, i_r, se calculează cu relaţia:

$$i_r = d_i - 2(\delta_1 U_t + A_p) \quad . \qquad (13.13)$$

În cazul unei uzuri constante se obţine următorul şir de dimensiuni de reparaţii:

$$\begin{aligned} d_{r1} &= d_i - i_r \\ d_{r2} &= d_i - 2\, i_r \\ d_{r3} &= d_i - 3\, i_r \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ d_{rn} &= d_i - n\, i_r \quad , \end{aligned} \qquad (13.14)$$

în care: n_r este numărul maxim de reparaţii posibile şi se determină cu relaţia:

$$n_r = \frac{d_i - d_{\min}}{i_r} \quad , \qquad (13.15)$$

în care: d_{min} este diametrul minim admisibil al arborelui din considerente de rezistenţă mecanică, rigiditate şi presiune de contact.

Pentru arbori cu uzură uniformă:

$$U_{max} = U_{min} \Rightarrow \delta_1 = l/2 \qquad (13.16)$$

iar pentru alezaje cu uzură uniformă, dimensiunea de reparaţii a alezajului D_r se calculează cu relaţia:

$$D_r = D_i + 2(U_{max} + A_p) \qquad (13.17)$$

în care D_i este diametrul iniţial; U_{max} - uzura maximă a alezajului; A_p -adaosul de prelucrare.

Analog cazului arborilor, se poate determina şirul de dimensiuni de reparaţii pentru alezaje cu relaţiile:

$$\begin{aligned} D_{r1} &= D_i - i_r \\ D_{r2} &= D_i - 2\, i_r \\ D_{r3} &= D_i - 3\, i_r \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ D_{rn} &= D_i - n\, i_r \quad , \end{aligned} \qquad (13.18)$$

respectiv numărul maxim de reparaţii posibile, n_r :

$$n_r = \frac{D_{\max} - D_i}{i_r} \quad , \qquad (13.19)$$

unde $D_{\max}$ este diametrul maxim admisibil al alezajului.

Dimensiunile cotelor de reparaţii se calculează de către proiectant şi se pun la dispoziţia tehnologilor de reparaţii (ele se anexează la *dosarul tehnic al maşinii*

de la compartimentul *mecanic şef*) în vederea stabilirii dimensiunilor de recondiţionare a pieselor sau la executarea de piese de schimb noi.

În cazul unor maşini executate cu componente tipizate se pot pregăti anticipat reparaţiile, prin crearea unui stoc suficient de piese şi subansambluri de schimb, care are menirea de a reduce durata imobilizării maşinii pentru reparaţii.

13.4. RECONDIŢIONAREA

Recondiţionarea presupune redarea capacităţii de funcţionare unor piese defecte. Ea se aplică pieselor care s-au aflat în funcţiune. Dacă este vorba de piese noi, procesul poate fi parte a proceselor de fabricaţie şi se numeşte *remedierea defectelor*.

În general, tehnologiile de remediere a defectelor se pot aplica şi pentru recondiţionarea pieselor (fig. 13.5).

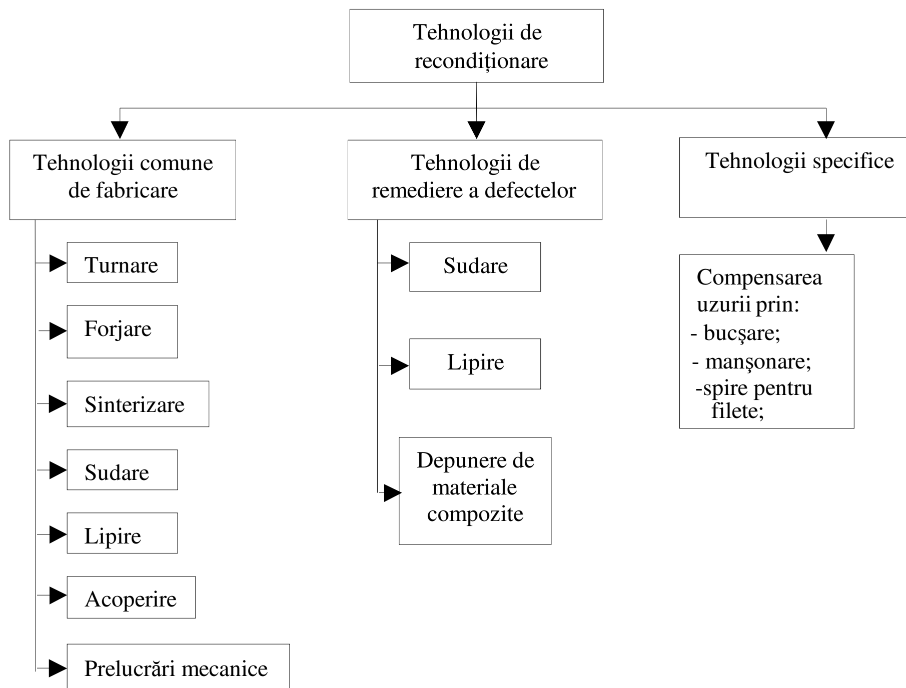


Fig. 13.5. Tehnologii de recondiţionare.

Compensarea uzurii face parte dintre tehnologiile specifice recondiţionării. Compensarea se face prin introducerea unor piese suplimentare (bucşe – pentru

alezaje, respectiv manşoane – pentru arbori, şaibe, spire de arc, plăcuţe etc.) asamblarea acestora făcându-se prin presare la cald sau la rece (fretare).

Spre deosebire de recondiţionare, *condiţionarea* înseamnă din punct de vedere tehnologic, conferirea unor proprietăţi îmbunătăţite de utilizare a pieselor sau produselor noi. Condiţionarea poate fi, de exemplu, o acoperire sau un alt tratament de protecţie a suprafeţelor împotriva coroziunii.

În limbajul uzual, recondiţionarea înseamnă şi redarea capacităţii de funcţionare a unor *produse* devenite necorespunzătoare sub aspectul performanţelor tehnice, al consumurilor şi al eficienţei, al dificultăţii de exploatare şi întreţinere. Din acest punct de vedere, recondiţionarea este atât o reparaţie, dar şi o actualizare, o aducere la zi, o modernizare (*up-grade*) a produsului. Repararea se adresează *uzării fizice*, în timp ce recondiţionarea răspunde celei *morale*.

Sub aspectul costurilor, repararea este suportată din *fondul de reparaţii*, iar recondiţionarea din *fondul de investiţii*.

Dacă se face referire la piese, recondiţionarea poate fi identică reparării. Dacă se face referire la produse, recondiţionarea este ceva mai mult decât o simplă reparare, deoarece produsul reparat îşi *recapătă funcţionalitatea iniţială* – în timp ce produsul recondiţionat îşi *depăşeşte performanţele iniţiale*.

Nu toate produsele sunt concepute ca să poată fi reparate sau recondiţionate. Există destule cazuri în care tehnologiile de reparare sau recondiţionare au fost dezvoltate ulterior, după casarea produselor, când s-au constatat efecte nocive asupra mediului, foarte costisitoare pentru societate. De regulă, orice tehnologie apărută ulterior generării efectelor nocive este incompletă, oferă soluţii parţiale şi adesea de moment, fiind orientată asupra combaterii imediate a efectelor şi nu a cauzelor acestor, toate acestea generând costuri ridicate.

În epoca actuală, conceptul de ciclu de viaţă al produselor vine tocmai să arate importanţa proiectării ecologice, faptul că, încă din faza de concepţie, trebuie identificate şi rezolvate toate problemele cunoscute cu impact asupra mediului, iar alegerea materialului pieselor şi alegerea proceselor de fabricaţie trebuie astfel facută încât să nu se genereze probleme de mediu, ci din contră, trebuie să fie rezolvate cele deja existente.

În domeniul construcţiilor, recondiţionarea unei clădiri are în vedere *reabilitarea*, adică o modernizare care vizează nu numai îmbunătăţirea rezistenţei şi esteticii, dar şi a *funcţionalităţii* şi a *eficienţei energetice* a clădirii respective.

Exemple de tehnologii de recondiţionare curent folosite în industria constructoare de maşini şi utilaje tehnologice sunt prezentate în tabelul 13.2.

Recondiţionarea pieselor se utilizează curent la repararea:

- autovehiculelor şi tractoarelor (motoare, cutii de viteze, transmisii, suspensii, mecanisme de direcţie, sisteme de frânare, pompe de injecţie, carburatoare, instalaţii de climatizare, anvelope etc.);

- maşinilor unelte şi roboţilor industriali (mecanisme de reglare a turaţiilor şi avansurilor, mecanisme de transformare a mişcării, arbori principali, lagăre,

Tabelul 13.2. *Tehnologii de recondiționare curente*

Metoda	**Procedeul/Operații**	**Aplicații la recondiționarea**
0	1	2
Răsfrângerea	Îndreptarea	Arborilor
	Mandrinarea	Alezajelor
	Refularea	Canelurilor, tacheților, butucilor, bielelor, furcilor cardanice
	Retrângerea	Suprafețelor interioare ale: furcilor cardanice, alezajelor fuzetelor etc.
	Moletarea	Arborilor, manşoanelor.
	Fretarea	Asamblarea cu strângere a compensatoarelor de uzură (bucşare, manşonare)
Deformare plastică superficială	Sablarea cu alice	Elementelor de structură
	Ecruisarea centrifugală cu bile	Ghidajelor
	Rularea cu bile sau role	Ghidajelor
	Tasarea cu broşe	Alezajelor
	Calibrarea	Bielelor
	Detensionarea prin percuție	Zonelor cu tensiuni: racordări, suduri, muchii, caneluri, canale de pană etc.
Sudare	Încărcarea cu arc electric	Pieselor din oțel, astuparea fisurilor
	Încărcarea oxi-gaz	Pieselor din oțel cu pereți subțiri
	Încărcarea prin vibrocontact	Majoritatea pieselor din oțel
Lipire	Lipirea moale	Pieselor din aliaje neferoase
	Brazarea	Pieselor din oțel, pieselor din materiale diferite
	Lipirea cu adezivi	Astuparea fisurilor, îmbunătățirea etanşeității
Metalizare prin pulverizare termică	Cu arc electric şi pulbere	Compensarea uzurii dimensionale, permite modificarea compoziției materialului de aport
	Cu arc electric şi sârmă	Cel mai accesibil procedeu, larg răspândit
	Cu plasmă şi pulbere	Pieselor din oțel aliat
	Oxi-gaz şi sârmă	Straturi de acoperire omogene
	Oxi-gaz şi pulbere	Permite metalizarea carburilor metalice
	Cu laser şi pulbere	Depunerea materialelor greu fuzibile
	Prin detonație	Depunerea materialelor greu fuzibile, a lubrifianților solizi, a straturilor anticorozive
Metalizare prin pulverizare la rece	Spray	Permite intervenția rapidă, asigură menținerea în fucționare de avarie până la remedierea defecțiunii
Metalizare prin depunere electrochimică	Cromarea dură	Compensarea uzurii dimensionale, rezistență la uzare
	Cromarea poroasă	Cămăşile de cilindri, segmenții; asigură reținerea lubrifiantului
	Oțelizarea	Compensarea uzurii dimensionale a: arborilor, camelor, bucşelor, inelelor, carcaselor, transmisiilor etc.

Tabelul 13.2. (*continuare*)

	Cuprarea	Straturi antifricţiune
	Nichelarea dură	Înlocuieşte cromarea dură; straturi cu tenacitate mai mare
	Stanarea	Pistoanelor şi segmenţilor din fontă, straturi antifricţiune
Prelucrări prin aşchiere	Rabotarea	Pregătirea suprafeţelor pentru încărcare sau metalizare
	Mortezarea	Butucilor şi bucşelor profilate
	Strunjirea	Arborilor, bucşelor, manşoanelor, pregătirea suprafeţelor pentru metalizare
	Frezarea	Corectarea abaterilor de formă
	Găurirea	Pregătirea suprafeţelor
	Alezarea	Corectarea abaterilor de formă
	Broşarea	Butucilor, bucşelor şi lagărelor
	Rectificarea	Corectarea abaterilor de formă
	Honuirea	Finisarea suprafeţelor interioare a cilindrilor şi cămăşilor de cilindru
	Lepuirea	Finisarea suprafeţelor
	Polizarea	Finisarea suprafeţelor
	Răzuirea	Asigurarea contactului alunecător
Prelucrări prin microaşchiere	Cu laser	Durificarea şi finisarea suprafeţelor
	Cu fascicul de electroni	Microprelucrări ale alezajelor
	Cu ultrasunete	Microprelucrări ale alezajelor
	Electrochimic	Finisarea materialelor extradure
	Electroeroziune	Prelucrarea materialelor dure
	Electromecanic	Arborilor, fuzetelor, pieselor tratate termic
Depunere de materiale nemetalice	Materiale compozite	Compensarea uzurii dimensionale, astuparea fisurilor, îmbunătăţirea etanşeităţii
	Pulverizarea termică a maselor plastice	Carcase, suporţi, bare expuse coroziunii
	Sticlă solubilă	Umplerea porilor, îmbunătăţirea etanşeităţii
	Bazalt	Bucşe pentru lagăre, ghidaje, îmbunătăţirea rezistenţei la coroziune

sisteme hidraulice, cuplaje şi frâne, ghidaje, elemente de structură, scule etc.);

- instalaţiilor din sectorul energetic (cazane, turbo şi hidroagregate, mori de cărbune, injectoare, instalaţii de alimentare şi evacuare etc.);
- utilajelor din industria materialelor de construcţii (cuptoare fixe şi rotative, mori de măcinare, amestecătoare, benzi transportoare, sortatoare, dozatoare etc.);
- utilajelor din industria extractivă (instalaţii de foraj, excavatoare, încărcătoare, instalaţii de tratare a minereurilor etc.);
- utilajelor din industria metalurgică (instalaţii de elaborare, linii de turnare, laminoare, cocserii;

- instalațiilor din industria chimică (reactoare, coloane de distilare şi separare etc.);

- utilajelor din industria alimentară (instalații de dozare şi ambalare, linii de îmbuteliere etc.).

În continuare sunt prezentate succint câteva exemple de tehnologii de recondiționare utilizate pentru piese tip (tabelele 13.3-13.7).

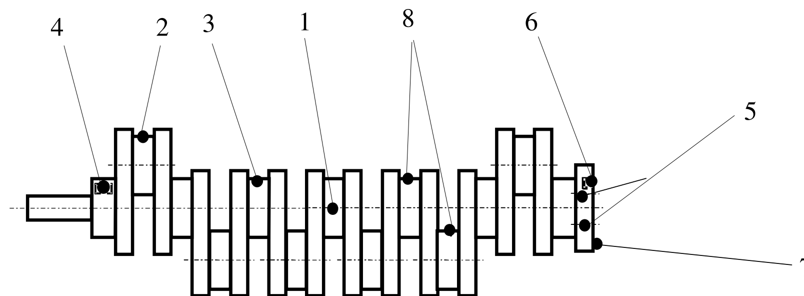


Fig. 13.6. Localizarea deteriorărilor arborelui cotit:
1- încovoierea; 2 - uzura în lungime a manetoanelor; 3 - uzura în lungime a fusului palier central; 4 - uzura canalului de pană al pinionului de distribuție; 5 - deteriorarea filetului de prindere a volantului; 6 - uzura locaşului de ghidare; 7 - bătaia frontală; 8 - abaterile dimensionale şi de formă ale fusurilor manetoane şi paliere.

Tabelul 13.3. *Tehnologia de recondiționare a arborilor cotiți*

Defectul	Tehnologia de recondiționare
1 - Încovoierea arborelui	Îndreptare la rece pe presă cu sprijinirea arborelui cu palierele marginale pe prisme.
2 - Uzura în lungime a fusurilor manetoane	- Cromarea dură, urmată de rectificare la cota nominală şi netezire prin rulare; - Încărcarea prin metalizare cu pulverizare termică, urmată de rectificare frontală la cota nominală.
3 - Uzura în lungime a fusului palier central	- Rectificarea suprafețelor frontale ale fusului la una din cotele de reparație, urmată de montarea inelelor de compensare corespunzătoare treptei de reparație; - Încărcarea prin metalizare cu pulverizare termică, urmată de rectificare frontală la cota nominală.
4 - Uzura canalului de pană al pinionului de distribuție	- Frezarea canalului la o cotă de reparație; - Frezarea unui alt canal, plasat la 90^0 față de cel uzat, atât în arbore, cât şi în butucul pinionului de distribuție, avându-se grijă să nu se modifice reglajul distribuției.
5 - Deteriorarea filetului găurilor de prindere ale volantului	Lărgirea găurilor urmată de filetarea lor.
6 - Uzura locaşului pentru ghidarea arborelui primar al cutiei de viteze	- Dacă este montat un rulment de ghidare locaşul se cromează dur şi se rectifică la cota nominală; - Dacă este o bucşă de ghidare se alezează locaşul la cota nominală şi se înlocuieşte bucşa de ghidare.

Tabelul 13.3. (*continuare*)

7 - Bătaia suprafeţei frontale a flanşei	Se rectifică suprafaţa frontală ţinând seama de grosimea minimă admisibilă a flanşei.
8 - Uzura, ovalitatea şi conicitatea fusurilor manetoane şi a celor paliere	- Rectificarea fusurilor manetoane la cota de reparaţie, urmată de lustruirea şi refacerea razelor de racordare; - Încărcarea fusurilor prin cromare dură sau metalizare prin pulverizare termică, urmată de rectificarea la cota nominală sau la cota de reparaţie şi lustruire.

Tabelul 13.4. *Tehnologia de recondiţionare a arborilor maşinilor-unelte*

Defectul	Tehnologia de recondiţionare
Deteriorarea găurilor de centrare	Recondiţionare pe strung.
Uzura fusurilor	-Încărcarea prin metalizare prin pulverizare termică; prin cromare sau oţelizare, sau prin sudare, urmată de rectificare la cota nominală şi ecruisare; -Bucşare sau manşonare, urmată de rectificare, ecruisare şi lustruire.
Fisuri ale fusurilor şi umerilor acestora	- Determinarea fisurilor prin control defectoscopic cu lichide penetrante şi ultrasunete; - Rectificarea zonelor deteriorate fără încărcare, pentru defecte care nu depăşesc 0,25 mm pe rază, sau strunjirea pentru eliminarea zonelor cu defecte, urmată de încărcare şi de rectificare.
Încovoierea arborelui	- Îndreptare la rece pe presă hidraulică sau cu şurub, cu sprijinirea arborelui pe prisme. Arborii cu diametru mai mare de 50 mm se îndreaptă numai la cald.
Abateri de formă	- Rectificarea zonelor deteriorate fără încărcare, pentru abateri care nu depăşesc 0,25 mm pe rază, sau încărcarea urmată de rectificare.

Tabelul 13.5. *Tehnologia de recondiţionare a şuruburilor de mişcare*

Defectul	Tehnologia de recondiţionare
Deteriorarea găurilor de centrare	- Recondiţionare pe strung.
Abateri de formă (excentricitate, ovalitate, conicitate)	- Recondiţionare pe strung, folosind un dispozitiv special de îndreptare.
Uzura fusurilor	- Încărcarea prin metalizare prin pulverizare termică; prin cromare sau oţelizare, sau prin sudare, urmată de rectificare la cota nominală şi ecruisare.
Abateri de la profilul filetului	- Adâncirea filetului fără a se atinge flancurile, urmată de rectificarea diametrului exterior şi de finisarea flacurilor filetului.

Tabelul 13.6. *Tehnologia de recondiţionare a chiulaselor*

Defectul	Tehnologia de recondiţionare
1- Fisuri, crăpături pe suprafeţele exterioare	- Sudare cu arc; - Sudare cu flacără; - Lipire cu răşini epoxidice, urmată de verificarea la etanşeitate a chiulasei la 0,4 MPa.
2 - Scurgeri de apă prin găurile de trecere ale prezoanelor de prindere	- Alezarea găurilor, urmată de introducerea presată a unei bucşe de trecere. Se verifică etanşeitatea prin proba hidraulică la 0,4 MPa.

Tabelul 13.6. (*continuare*)

3 - Deformarea suprafeței de așezare pe blocul motor	Frezarea și rectificarea suprafeței de așezare.
4 - Uzura suprafețelor interioare a ghidurilor, supapelor de admisie și de evacuare	- Înlocuirea ghidurilor uzate, urmată de alezarea lor la cota de reparație; - Alezarea ghidurilor uzate și utilizarea unor supape cu diametrul tijei mărit prin cromare.
5 - Uzura locașelor ghidurilor supapelor de admisie și de evacuare	- Alezarea locașurilor, urmată de asamblarea prin presare a unor ghiduri cu diametrul exterior majorat.
6 - Uzarea suprafețelor de așezare a supapelor de admisie sau de evacuare	- Frezarea și rectificarea suprafeței de așezare; - Asamblarea prin fretare a unui nou scaun de supapă, urmată de rectificarea conică a suprafeței de așezare, urmată de rodarea suprafeței cu supapa corespunzătoare.
7 - Uzura locașului scaunului supapelor de admisie sau de evacuare	- Alezarea locașului la cotă majorată, urmată de asamblarea prin fretare a unui nou scaun de supapă, având diametrul exterior majorat corespunzător.
8 - Uzura suprafeței de așezare a injectorului	- Teșirea suprafeței de așezare.
9 - Deformarea suprafeței de asamblare cu colectorul de admisie sau de evacuare	- Frezarea și rectificarea suprafeței de așezare.
10 - Deteriorarea filetelor găurilor de fixare	- Lărgirea găurii, urmată de refiletare la cota majorată; - Depunerea de material prin sudare cu flacără, urmată de găurire și filetare la cota nominală.

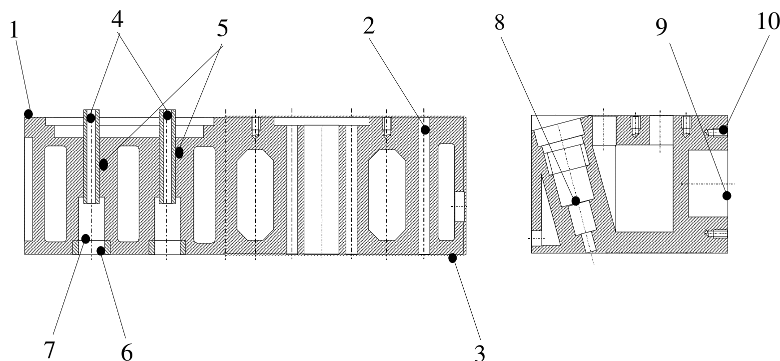


Fig. 13.7. Localizarea deteriorărilor chiulasei:
1 - deteriorarea suprafeței exterioare; 2 - scurgeri de apă prin găurile prezoanelor; 3 - deformarea suprafeței de așezare; 4 - uzura suprafeței interioare a ghidurilor supapelor; 5 - uzura locașelor ghidurilor supapelor; 6 - uzura suprafețelor de așezare a supapelor; 7 - uzura locașelor scaunelor supapelor; 8 - uzura suprafețelor de așezare a injectoarelor; 9 - uzura suprafeței de așezare a colectorului; 10 - deteriorarea filetelor de fixare.

Limitele utilizării tehnologiilor de recondiționare sunt date de factori: tehnici, tehnologici, economici și organizatorici. Decizia managerială trebuie să fie

Tabelul 13.7. *Tehnologia de recondiționare a lagărelor de alunecare*

Defectul	Tehnologia de recondiționare
Mărirea jocului ajustajului fus-lagăr	- Ajustarea cuzinetului în corpul lagărului şi pe fus; - Încărcarea prin sudare sau metalizare, urmată de strunjire şi rectificare la cota nominală – pentru bucşele din oțel.
Abateri de formă	- Alezarea corpului lagărului şi a cuzinetului asamblat la cotele de reparație.
Deteriorarea suprafeței de contact (gripare, pitting)	- Curățarea suprafeței prin alezare sau strunjire fină, depunerea unui strat compensator, finisarea suprafeței de contact; - Înlocuirea cuzinetului şi finisarea suprafeței de contact.
Deteriorarea materialului antifricțiune (exfoliere, topire)	- Curățarea suprafeței prin alezare sau strunjire fină, depunerea stratului antifricțiune, finisarea suprafeței de contact; - Înlocuirea cuzinetului şi finisarea suprafeței de contact.
Fisurarea corpului lagărului	- Curățarea zonei deteriorate, urmată de sudare sau lipire cu adezivi epoxidici.

fundamentată ținând seama de complexul acestor factori.

Factorii tehnici care influențează utilizarea tehnologiilor de recondiționare sunt: rezistența la uzare, funcționalitatea, durabilitatea, rezistența mecanică şi interschimbabilitatea.

Factorii tehnologici care influențează utilizarea tehnologiilor de recondiționare sunt: productivitatea, costurile (operațiilor de bază, ale celor auxiliare şi celor totale), accesibilitatea procedeului şi caracterul producției (tabelul 13.8).

Tabelul 13.8. *Limitele tehnologice ale unor procedee de recondiționare*

Procedeul de depunere	Productivitatea [kg/h]	Duritatea stratului depus [daN/mm^2]	Uniformitatea stratului depus [mm]	Aplicabilitate la o uzură de... [mm]
Sudare cu flacără	0,8-1	300-400	0,5-2	<3
Sudare cu arc cu electrozi înveliți	1-3	300-400	1-2	<6
Sudare cu arc cu electrod de grafit	0,8-1	600-800	0,5-1,5	<2,5
Sudare MIG	8	400-600	0,5-1,5	<6
Sudare WIG	2,5-3,5	420-530	0,5-1,5	<3
Sudare MAG	1,7-8	170-500	0,5-1,5	<6
Sudare sub flux	10-40	350-500	0,5-2	>0,5
Sudare cu plasmă	3,15	360-650	0,1-1	0,5
Sudare cu electrod bandă	3	400-600	0,05	<0,5
Pulverizare termică	2-14	280-600	0,5-1	>0,6
Cromare dură	0,04	400-1200	0,5	<0,3

Factorii economici care influențează utilizarea tehnologiilor de recondiționare sunt: cheltuielile pentru realizarea unei piese noi, durabilitatea piesei noi şi a celei recondiționate, cheltuielile pentru recondiționarea unei piese, mărimea

seriei de fabricație etc.

Factorii organizatorici care influențează utilizarea tehnologiilor de recondiționare sunt: specificul de activitate a firmei care beneficiază de piesele recondiționate, strategia managerială, existența unor compartimente specializate, accesibilitatea procedeelor de recondiționare şi a cooperării între firme, frecvența intervențiilor etc.

13.5. PROIECTAREA PENTRU RECICLARE

Proiectarea pentru reciclare (*design for reuse, design for disassembly, design for remanufacture, green product design*) este un concept constructiv care stă la baza tehnologiilor ecologice contemporane. Produsele trebuie să fie concepute astfel încât să poată fi incluse cu uşurință într-un circuit de reciclare după scoaterea lor din funcțiune. Circuitul de reciclare poate include: colectarea, depozitarea, sortarea, demontarea, recondiționarea (refabricarea), actualizarea (*up-grade*), reintroducerea produsului în circuitul de utilizare, tratarea şi depozitarea deşeurilor (fig. 13.8).

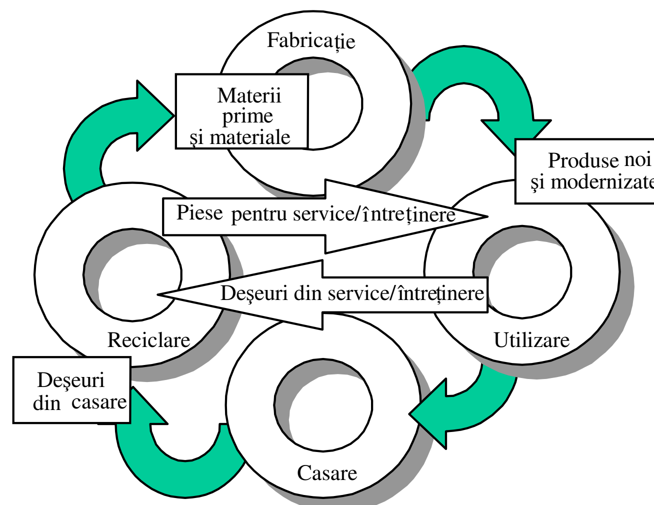


Fig. 13.8. Locul reciclării în ciclul de viață al produsului.

Pentru a se permite reciclarea uşoară a produselor şi a componentelor acestora, la conceperea produselor, proiectantul trebuie să aibă în vedere satisfacerea următoarelor cerințe:

- reciclarea materialelor, separarea componentelor în raport cu materialul acestora, reutilizarea uşoară a materialelor;

- folosirea unor materiale ecologice, pentru care este pusă la punct o tehnologie de recuperare, tratare, reciclare;
- procedee de reprelucrare a componentelor;
- separarea componentelor de formă exterioară cu rol estetic (elemente de estetică care se pot modifica în funcție de modă) de cele de structură şi cele funcționale;
- utilizarea unor asamblări demontabile pentru componentele schimbabile;
- modularizarea produselor şi a componentelor;
- normalizarea şi tipizarea componentelor şi produselor;
- controlabilitatea componentelor şi ansamblelor;
- diminuarea uzurii (prevederea de piese de uzură, utilizarea de materiale rezistente la uzare etc.);
- mentenabilitatea (tehnologii de reparare şi de întreținere, instrucțiuni de exploatare şi de întreținere);
- întreținere cât mai simplă şi uşoară;
- posibilitatea de a se verifica şi sorta componentele după coduri;
- accesibilitatea componentelor în vederea demontării uşoare;
- rezistență la coroziune şi la degradare pe întreaga durată de viață a produsului;
- posibilitatea de montare şi respectiv de demontare uşoară şi rapidă;
- posibilitatea de curățire uşoară;
- posibilitatea de manevrare (cârlige de ridicare, mânere etc.);
- posibilitatea de a reprelucra componentele (rezerve de material – adaosuri de reprelucrare etc.)

Proiectarea compatibilă este o soluție constructivă inclusă conceptului de proiectare pentru reutilizare, care permite recondiționarea uşoară a produselor. O serie de produse este *compatibilă* atunci când este posibilă *interschimbabilitatea componentelor* şi când dezvoltări ulterioare ale produsului se pot face utilizând o *platformă de bază comună*. De exemplu, calculatoarele personale sunt concepute pe o platformă comună, care permite actualizări ulterioare şi în acelaşi timp produsele realizate de diverse firme sunt compatibile între ele (compatibile cu *modelul IBM*). Marile firme de autoturisme lucrează de asemenea pe platforme tehnice comune pentru modelele de aceeaşi categorie (WV, Skoda, Seat, Audi; Renault, Nissan, Dacia). În acest ultim exemplu, proiectarea compatibilă vizează reducerea cheltuielilor de cercetare ştiințifică şi de dezvoltare tehnologică în cadrul concernului, creşterea eficienței prin mărirea *stabilității producției* şi scurtarea timpului de răspuns pe piață.

Compatibilitatea dintre produse se realizează prin modularizare şi tipizare.

Modularizarea constă în conceperea produselor sub forma unor ansamble de module, comune unei clase. Modulele corespund grupelor constructive şi funcționale ale produsului respectiv.

De exemplu, o maşină unealtă poate fi realizată fie ca un proiect unicat, din componente special proiectate şi executate sau, dimpotrivă, din elemente modulare, care pot fi folosite şi la realizarea altor tipuri de maşini: motoare de acționare, batiuri, montanți, mese, ghidaje, dispozitive de prindere, cutii de viteze, cutii de avansuri, capete de prelucrare, instalații electrice, hidraulice, de ungere, de evacuare a aşchiilor, de alimentare cu piese etc.

Modularizarea permite:

- o proiectare, o fabricație şi o mentenanță uşoară, apelându-se la componente existente, accesibile şi foarte bine cunoscute de personalul de exploatare şi service;

- o eficiență crescută a producției

- o viteză mare de răspuns la cerințele pieței, reducerea la minimum a termenelor de onorare a contractelor.

Fabricația modulelor se poate face în producție de serie mare şi de masă, în timp ce, prin asamblarea diferită a modulelor, combinată cu un minimum de elemente individualizate, se pot realiza produse unicate, la temă. Modularizarea se aplică la nivelul firmei.

Tipizarea constă în restrângerea gamei de dimensiuni de execuție a produselor şi a componentelor acestora, în scopul simplificării fabricației şi a volumului documentației aferente. Tipizarea poate fi realizată la nivelul firmei, la nivelul ramurii industriale sau la nivel național.

Tipizarea poate fi implementată prin norme şi standarde (de exemplu, şirul de numere normale utilizate în proiectarea rapoartelor de transmitere, gama de ajustaje, diametrele nominale ale conductelor şi elementelor hidraulice, formatele de desen şi cele tipografice, gabaritul elementelor de construcții, gabaritul ambalajelor, paletelor şi containerelor etc.).

Figura 13.9 prezintă aplicarea reciclării la produsele de larg consum, respectiv bunurilor industriale. Ambele tipuri de produse parcurg tehnologii similare de recondiționare, efectul economic generat de reutilizare este diferit, în funcție de complexitatea şi utilitatea produsului respectiv. În cazul bunurilor de larg consum este importantă înlocuirea produsului defect, în timp ce, pentru bunurile industriale este importantă modernizarea produsului şi uneori posibilitatea de a achiziționa produse de tehnologicitate ridicată la prețuri reduse (piața *second-hand*).

O practică frecventă de reutilizare a materialelor este de a se folosi piesele uzate de dimensiuni mari drept semifabricate pentru execuția altor piese de dimensiuni mai mici. Astfel, din cilindrii de laminor uzați se pot prelucra: roți dințate, pinioane, arbori, tije, coloane, cilindri, role, nicovale, cuplaje etc. Avantajele acestei practici, față de utilizarea materialelor noi, sunt: reducerea consumului energetic cu 15 - 45%, reducerea consumului de material cu 6 - 8%, diminuarea costurilor cu 10 - 35%, reducerea volumului deşeurilor cu 75 - 80%.

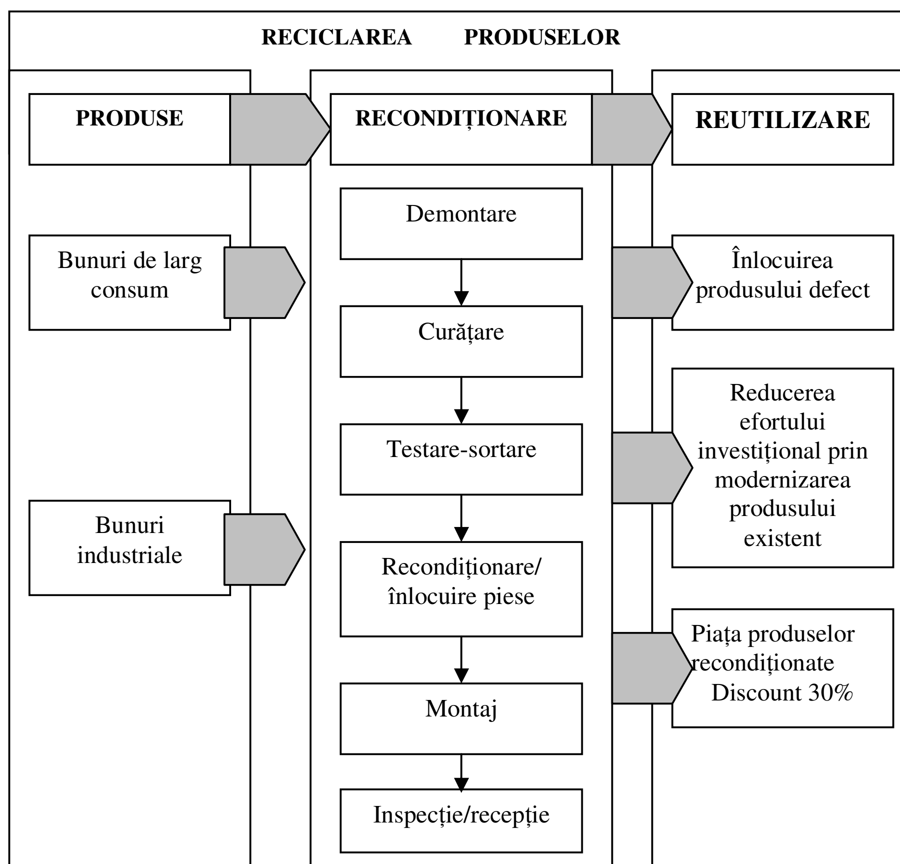


Fig. 13.9. Etapele şi utilitatea reciclării.

13.6. RECUPERAREA MATERIALELOR DEGRADATE. PROTECȚIA MEDIULUI

În urma fabricării şi a reciclării produselor sunt generate *deşeuri*. Acestea trebuie să fie introduse într-un circuit de recuperare, astfel încât să nu se provoace efecte negative asupra mediului şi, în acelaşi timp, să fie recuperate energia şi cheltuielile generate de existența acestor deşeuri.

În figura 13.10 este exemplificat un circuit de recuperare a deşeurilor provenite ca urmare a scoaterii din uz a produselor casnice şi a anumitor categorii de produse industriale şi agricole.

Circuitul de recuperare trebuie să înceapă chiar de la utilizator, care prin

casarea produsului devine generator de deşeuri. La generatorul de deşeuri trebuie să se facă sortarea deşeurilor pe categorii de recuperare, stabilite împreună cu firma care se ocupă cu colectarea, transportul şi prelucrarea acestor deşeuri. Modalitatea de depozitare, colectare şi transport trebuie să ajute şi să încurajeze atitudinea civică şi ecologică a generatorului de deşeuri.

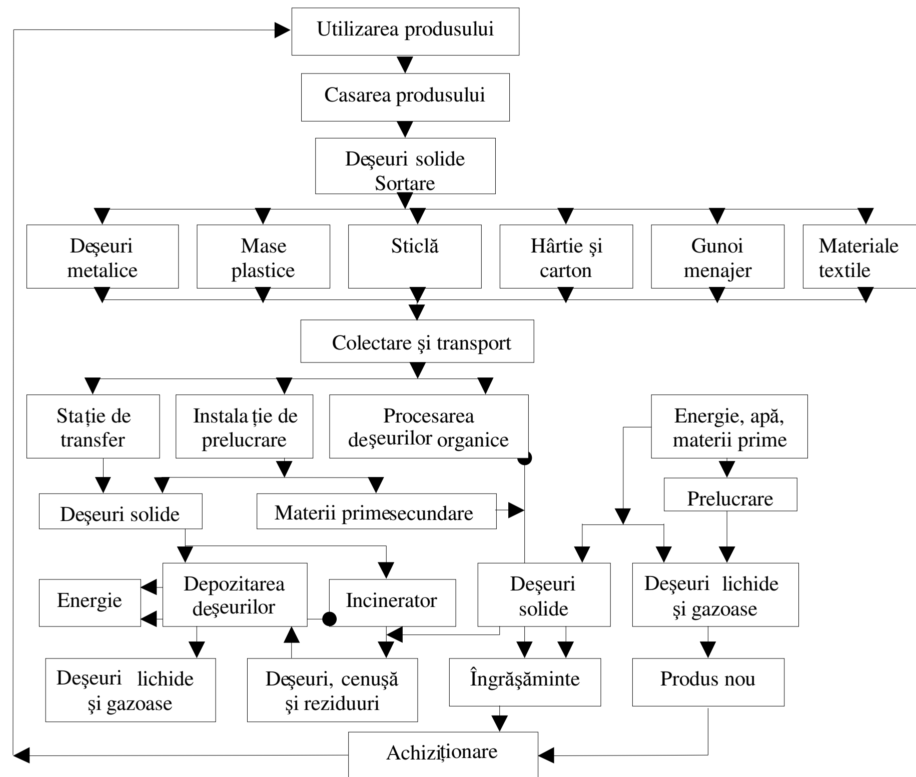


Fig. 13.10. Circuitul de recuperare.

Categoriile de recuperare sunt:

- deşeuri voluminoase nemetalice (mobilă, saltele etc.);
- deşeuri textile;
- deşeuri de hârtie şi carton;
- deşeuri de sticlă;
- deşeuri de mase plastice (ambalaje);
- deşeuri de cauciuc (anvelope);
- deşeuri speciale (baterii, acumulatori, medicamente, substanţe toxice, lubrifianţi);

- deşeuri metalice;
- deşeuri complexe care necesită la rândul lor separarea şi sortarea (autoturisme, aparate electrocasnice etc.);
- deşeuri menajere vegetale şi animale;
- deşeuri din construcții (moloz, beton, asfalt).

Circuitele de recuperare sunt diferite pentru fiecare categorie în parte. Din punct de vedere economic este eficient să se prelucreze numai deşeurile sortate. Cele nesortate pot fi cel mult depozitate, degradarea lor naturală făcându-se cu viteze diferite şi fără a se putea recupera materialele sau energia înglobată în produs. Depozitarea deşeurilor necesită cheltuieli de depozitare şi de administrare, extinse pe mai multe zeci de ani de funcționare a depozitului.



CONTROLUL PRODUSELOR ÎN CONSTRUCȚIA DE MAŞINI ŞI DE APARATE

14.1. GENERALITĂȚI

Controlul nu constituie în sine un proces care să adauge plus-valoare produsului controlat; *el este menit să ateste fie buna desfăşurare a proceselor de fabricate, fie conformitatea unui produs cu specificațiile sale.*

Rezultatele controlului pot influența deciziile manageriale, tehnologice, constructive de concepție, de execuție, de exploatare şi de mentenanță, controlul constituind o buclă de feed-back.

Din punct de vedere economic, controlul constituie un *timp* de lucru *neproductiv*, care creşte cheltuielile de fabricație. Sub acest aspect, controlul trebuie limitat la un strict absolut necesar.

Controlul produselor presupune determinarea prin inspectare/testare a anumitor caracteristici şi performanțe ale unui produs (analiză, măsurare), compararea lor cu nişte specificații tehnice şi tehnologice, care au fost prescrise pentru acel produs (comparare), clasificarea sau sortarea produselor pe clase de calitate (decizie) şi stabilirea unor acțiuni corective sau preventive (concluzii).

Specificațiile pot fi impuse prin: clauze contractuale de către beneficiar, norme interne ale firmei, norme de ramură industrială, norme ale organismelor de certificare produse, standarde, legislația natională sau internațională.

Controlul produselor era cunoscut în trecut în întreprinderi sub titulatura de ,,Control Tehnic de Calitate - CTC”. Astăzi această denumire este deja depăşită, o dată cu apariția şi generalizarea standardelor de calitate din seria ISO 9 000.

Conform vocabularului calităţii, standardul ISO 8 402 din 1995, defineşte *calitatea* unui produs sau serviciu ca fiind „ansamblul de proprietăţi şi caracteristici ale unui produs sau serviciu care îi conferă acestuia aptitudinea de a satisface necesităţile exprimate sau implicite”.

Calitatea este aşadar privită ca o *valoare de întrebuinţare*, ca măsură a utilităţii unui produs sau serviciu, percepută numai în măsura în care ansamblul de proprietăţi şi caracteristici ale produsului reuşesc să rezolve problemele clientului, răspunzând aşteptărilor acestuia.

Un produs/serviciu poate avea din punct de vedere ingineresc orice performanţe, chiar şi extraordinare, dar el nu va fi perceput de către client drept un produs de calitate decât în momentul în care produsul/serviciul este util pentru rezolvarea unei probleme a clientului, răspunzând strict cerinţelor exprimate în contract sau celor subînţelese. Revine specialistilor în marketing dificila misiune de a prospecta piaţa şi de a exprima în date tehnico-economice aşteptările potenţialilor clienţi în raport cu un produs sau serviciu.

După standardul ISO 8 402, *produsul* sau *serviciul* este definit ca „rezultat al activităţilor sau proceselor (produse hardware sau software) sau o activitate sau proces în sine - prestarea unui serviciu sau aplicarea unui procedeu de fabricaţie”.

Conform standardul ISO 8 402, termenul „calitate” nu trebuie utilizat pentru exprimarea unui grad superlativ - nivel de excelenţă, şi nici cu sens cantitativ în evaluările tehnice. În aceste cazuri trebuie să se folosească un calificativ, ca de exemplu: „calitate relativă”, atunci când produsele sunt clasificate după superlativul lor sau prin comparaţie; respectiv: „nivelul calităţii” şi „măsura calităţii”, atunci când evaluări tehnice precise sunt efectuate şi exprimate cantitativ.

După standardul ISO 8 402, *controlul calităţii* este definit ca: „totalitatea tehnicilor şi activităţilor cu caracter operaţional, care au drept scop atât urmărirea (monitorizarea) unui proces, cât şi eliminarea cauzelor performanţelor necorespunzătoare, în vederea îndeplinirii cerinţelor de calitate”.

În standardul ISO 8 402 se regăseşte şi ceea ce era îndeobşte cunoscut, în mod tradiţional, drept CTC, denumit însă de acum înainte *inspecţie* - „activităţi precum măsurarea, examinarea, testarea uneia sau mai multor caracteristici ale unui produs sau serviciu şi compararea acestora cu cerinţele specificate, în vederea stabilirii conformităţii produsului sau serviciului cu specificaţiile respective”.

Problema realizării unor produse de calitate, a lucrului bine făcut de prima dată, este impusă din considerente de eficienţă economică. Astfel se constată o creştere (datorată crizei de materii prime şi energie, a globalizării pieţelor de desfacere) a ponderii costului intrărilor (materii prime, energie, piese şi subansamble, servicii - care sunt achiziţionate de întrepridere) în procesul de fabricaţie, care poate ajunge la peste 50% din costul ieşirilor (produse finite, piese de schimb, servicii). În acest caz, pentru supravieţuirea întreprinderii, este imperios necesară reducerea drastică a cheltuielilor de fabricaţie (prin reducerea duratei de fabricaţie, a volumului stocurilor, a întârzierilor, a remedierilor şi a înlocuirilor, a

birocrației inutile; adică prin perfecționarea şi optimizarea organizării). În acelaşi timp, este necesară o creştere a exigenței față de calitatea intrărilor printr-o colaborare riguroasă cu furnizorii.

În epoca actuală, scopul controlului este de a economisi munca prin prevenirea apariției *neconformităților* şi nu de a o risipi prin remedierea produselor neconforme. Controlul trebuie să ofere nu numai informații despre conformitatea produsului cu specificațiile; el trebuie să identifice cauzele apariției neconformităților şi să propună acțiuni corective şi preventive. Din perspectiva actuală, calitatea înglobează patru componente principale (figura 14.1), legate de traseul de fabricație şi utilizare a produsului: *concepție, execuție, utilizare, service.*

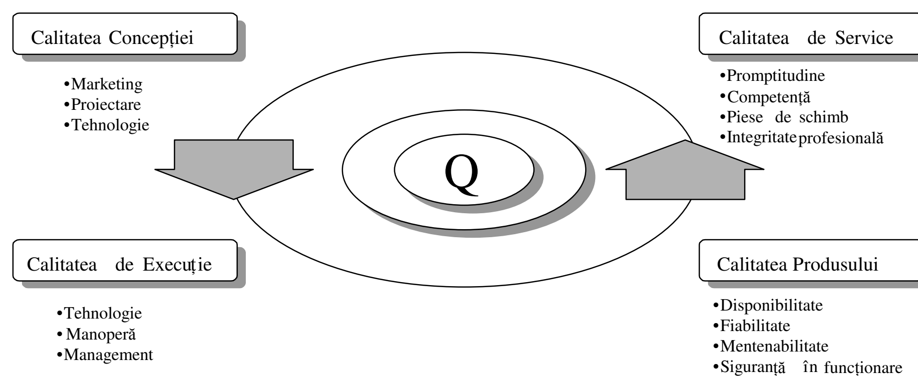


Fig. 14.1. Componentele calității.

Din perspectiva produsului, calitatea se defineşte prin următorii indicatori:

- *capabilitatea* este capacitatea produsului de a îndeplini cerințele;

- *fiabilitatea* este capacitatea produsului de a îndeplini funcțiile cerute, în condiții de utilizare specificate şi într-o perioadă de timp determinată;

- *disponibilitatea* este capacitatea produsului de a satisface misiunea sa într-o perioadă de timp determinată;

- *mentenabilitatea* este capacitatea produsului de a fi repus în funcțiune într-o perioadă de timp determinată;

- *siguranța în funcționare* este capacitatea produsului de a nu afecta mediul şi viața;

- *operabilitatea* este capacitatea produsului de a fi operabil de către beneficiar într-o perioadă de timp determinată;

- *durabilitatea* exprimă durata de viață a produsului.

După cum s-a arătat mai înainte, astăzi termenul *calitate* apare în diverse definiții şi concepte. În figura 14.2. este sintetizată o structură de legătură şi de ierarhizare recapitulativă a diverşilor termeni din familia calității:

- *inspecția calității* este nivelul de bază, operațional (CTC-ul clasic);

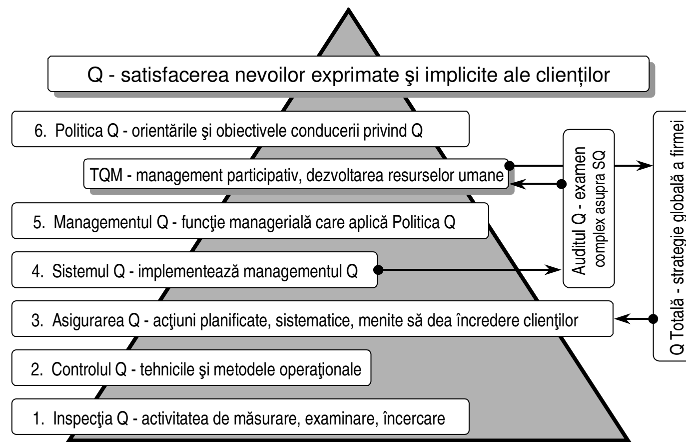


Fig. 14.2. Definirea noțiunilor referitoare la calitate.

- *controlul calității* este nivelul următor de integrare a tehnicilor şi metodelor operaționale;

- *asigurarea calității* generează încrederea internă şi externă în capabilitatea firmei de a crea calitatea;

- s*istemul calității* este infrastructura necesară implementării managementului calității;

- *managementul calității* este funcția managerială care implementează politica firmei în domeniul calității;

- *politica în domeniul calității* este strategia firmei referitoare la calitate;

- *managementul calității totale* (TQM) este un concept de restructurare a managementului contemporan, care pune accentul pe rentabilizarea firmei pe termen lung, utilizând ca principale pârghii managementul participativ, calitatea, dezvoltarea şi eficientizarea resurselor umane;

- *calitatea totală* este strategia globală a fimei de eficientizare a întregii activități prin calitate;

- *auditul calității* este examenul complex prin care se certifică sistemul calității;

- *calitatea* exprimă valoarea de întrebuințare a produselor şi serviciilor.

14.2. TIPURI DE PROCESE DE CONTROL ÎN CONSTRUCȚIA DE MAŞINI ŞI APARATE

14.2.1. Criterii de clasificare

Clasificarea proceselor de control se poate face după mai multe criterii şi

anume:

- după poziția față de procesul de transformare se deosebesc (fig. 14.3):
- în amonte, controlul inițial, care se face:
  - la furnizor;
  - la recepția produselor;
  - la reglarea maşinilor şi SDV-urilor.

- în timpul desfăşurării procesului:
  - controlul pe fluxul de fabricație;
  - autocontrolul/controlul extern;
  - controlul procesului;
  - controlul integral/controlul statistic;
  - controlul pe stand;
  - controlul inter operații.
- în aval, controlul final:
  - pe stand;
  - la producător;
  - la expediere;
  - la instalare/punere în funcțiune;
  - după depanare/service.

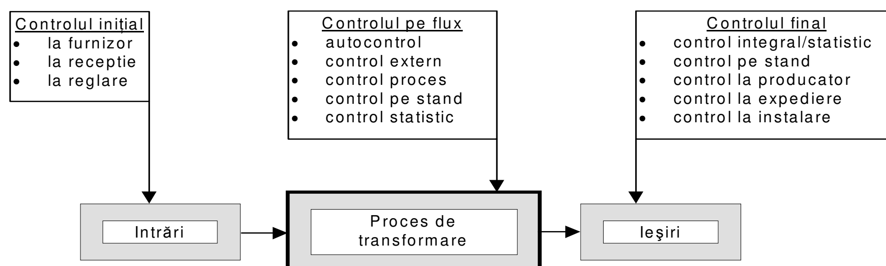


Fig. 14. 3. Clasificarea proceselor de control în raport cu procesul de transformare.

- după poziția în raport cu ciclul de viață al produsului se disting (fig. 14.4):
  - procese care au loc la producător;
  - procese care au loc la client (beneficiar);
  - procese care se desfăşoară după casarea produsului.
- după gradul de automatizare al procesului de control se deosebesc:
  - controlul manual;
  - controlul parțial automatizat;
  - controlul integral automatizat.
- după numărul de produse controlate se deosebesc:
  - integral;
  - prin eşantionare, statistic.

- după complexitatea controlului se deosebesc:
    - autocontrolul;
    - controlul extern specializat;
    - auditul.
- după echipamentul utilizat se deosebesc**:**
    - controlul cu instrumente;
    - controlul cu aparate;
    - controlul cu maşini/instalații;
    - controlul pe standuri.
- după condițiile de testare ale produsului se deosebesc:
    - controlul în condiții uzinale;
    - controlul în condiții de laborator;
    - controlul în condiții simulate de funcționare;
    - controlul în condiții reale de funcționare.

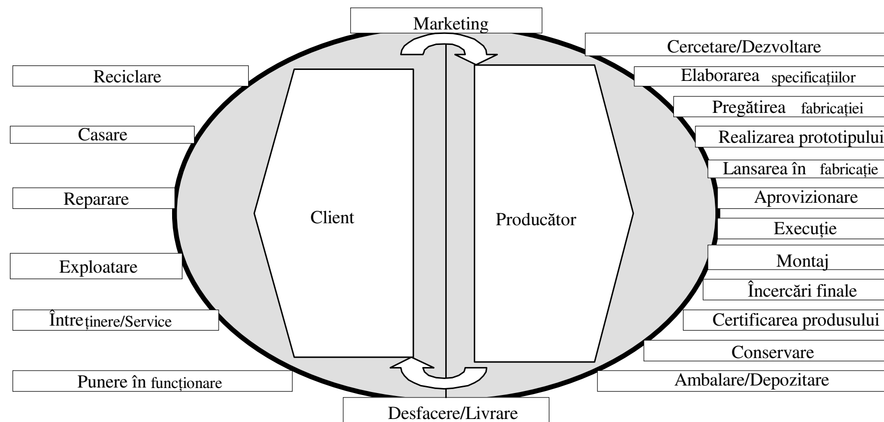


Fig. 14.4. Ciclul de viaţă al produsului hardware.

- după ceea ce se testează se disting:
    - controlul caracteristicilor fizico-chimice;
    - controlul caracteristicilor mecanice de rezistență;
    - controlul caracteristicilor electro-mecanice;
    - controlul caracteristicilor estetice;
    - controlul caracteristicilor de exploatare;
    - controlul caracteristicilor de mentenanță;
    - controlul caracteristicilor ecologice.
- după modul de inspectare se deosebesc:
    - controlul distructiv: - pe epruvete;
      - pe produse de sacrificiu;
    - controlul nedistructiv.

- după gradul de răspândire a metodei de inspectare se disting:
  - controlul cu metode uzuale;
  - controlul cu metode speciale.

14.2.2. Controlul inițial (la recepție)

Controlul inițial se aplică produselor şi materialelor aprovizionate, înainte de introducerea lor în fluxul de fabricație (procesul de transformare). Sistemul de verificare a produselor trebuie stabilit de comun acord cu furnizorul şi trebuie clar precizat în comanda de aprovizionare. Verificarea produselor şi a materialelor aprovizionate se poate face:

- pe baza sistemului de asigurare a calității care functionează la furnizor (se solicită audituri de sistem sau documente care să certifice performanțele sistemului, evaluări efectuate de organisme independente recunoscute);
- pe baza interpretării înregistrărilor statistice ale controlului proceselor de fabricație;
- inspecție la furnizor înainte de livrare, în prezența reprezentanților beneficiarului;
- inspecție la beneficiar după livrare, în prezența reprentanților furnizorului.

14.2.3. Controlul pe fluxul de fabricație

Controlul pe fluxul de fabricație se poate efectua în timpul operațiilor fiind un control în timp real (on-line), care permite reglarea ulterioară a maşinii/procesului, sau între operații (la sfârşitul unei operații). Controlul poate fi efectuat de către:

- operator (autocontrol);
- de către personal calificat (CTC);
- în ciclu automat de către o instalație sau maşină (control automat).

14.2.4. Controlul final

Controlul final se desfăşoară după încheierea tuturor operațiilor de realizare a produsului. Controlul final trebuie să aibă în vedere *percepția globală* pe care clientul o are la contactul cu produsul. Aceasta înseamnă că se va acorda atenție şi *activităților post-producție*, precum: conservarea, ambalarea, depozitarea, manipularea, prezentarea, desfacerea, consilierea, vânzarea, livrarea, instalarea, punerea în funcțiune, întreținerea şi service-ul, care în mod obişnuit vând produsul şi creează *imaginea firmei* pe piață.

14.2.5. Controlul integral

Controlul integral presupune verificarea fiecărui produs sau piese în parte, bucată cu bucată. Se poate aplica la recepţie, pe flux sau la final. De regulă este deosebit de laborios şi duce la scăderea productivităţii. Se aplică în producţia de serie mică şi unicate şi în cazul produselor a căror siguranţă în funcţionare este deosebit de importantă (avioane, nave, utilaj chimic, petrolier, nuclear, minier, militar, energetic). Opusul său este *controlul statistic* sau controlul prin eşantionare (selecţionare).

14.2.6. Controlul statistic

Cronologic *controlul statistic* a apărut o dată cu dezvoltarea producţiei de serie mare şi de masă, în anii '30 în S.U.A., ca răspuns la nevoia de creştere a productivităţii şi de reducere a costurilor produselor, marcând trecerea la societatea de consum.

W.E. Deming, unul din părinţii *calitologiei*, specialist în statistică, afirma în 1944: „În viaţa reală nu există constante. Există totuşi un sistem cauzal constant. Rezultatele produse de un astfel de sistem cauzal pot varia într-o bandă largă sau, dimpotrivă, îngustă. Pe lângă variaţie, datele de ieşire ale unui astfel de sistem cauzal prezintă o caracteristică importantă, denumită stabilitate. De ce este nevoie să se aplice noţiunile de constanţă şi de stabilitate unui sistem cauzal care produce rezultate variabile? Deoarece acelaşi procentaj de rezultate variabile continuă să apară, în cadrul unor limite date, periodic, oră după oră, zi după zi, pe durata de operare a sistemului cauzal. Distibuţia rezultatelor poate fi constantă sau stabilă. Când un proces de prelucrare se comportă ca un sistem cauzal constant, producând rezultate ale inspectţiilor care prezintă stabilitate, se spune că este sub control statistic. Graficul de control arată dacă procesul respectiv se află sau nu în limitele de control."

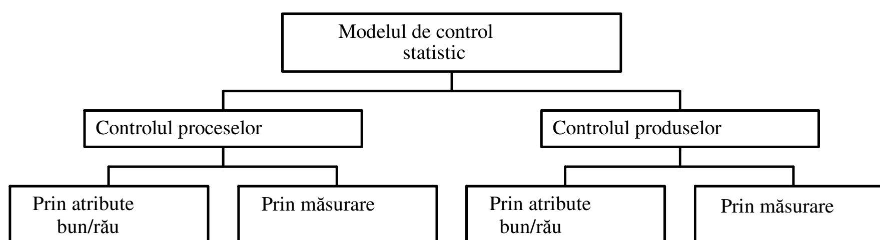


Fig. 14.5. Tipuri de control statistic.

Controlul statistic trebuie perceput ca un set de instrumente care pot influenţa deciziile manageriale legate de proiectare, producţie şi testare/încercare/inspecţie. Controlul statistic în general necesită cooperarea

factorilor de răspundere din aceste trei funcții importante ale unei firme. De aceea, din acest punct de vedere, controlul statistic trebuie înțeles ca un ajutor managerial important.

Principalele instrumente de control statistic utilizate în producție sunt:

- *graficele de control Shewhart pentru caracteristicile de calitate măsurabile*. Acestea pot fi:
  - grafice pentru variabile;
  - grafice pentru medie şi dispersie;
  - grafice pentru media eşantioanelor şi abaterea standard;
- *graficele de control Shewhart pentru fracțiunea respinsă* (graficul p);
- *graficele de control Shewhart pentru numărul de neconformități per unitate* (graficul c). Aceste grafice prezintă numărul total de defecte raportat la piesa inspectată. Dacă numărul de neconformități pentru o anumită piesă inspectată se situează în afara limitelor de control calculate sau dacă punctele sunt dispuse preferențial deşi toate se află în limitele de control, atunci procesul se află în afara controlului şi trebuie intervenit pentru a se preveni apariția defectelor;
- *procedura de eşantionare*.

14.3. ASIGURAREA CALITĂȚI

Conform standardului ISO 8402, *asigurarea calității* înseamnă ansamblul de acțiuni planificate şi sistematice, menite a da *încrederea* corespunzătoare că un produs sau serviciu va satisface cerințele de calitate specificate.

Încrederea este completă numai dacă condițiile specificate reflectă toate exigențele utilizatorului. Asigurarea calității necesită o evaluare permanentă a factorilor care influențează gradul de adecvanță a proiectului, precum şi verificări şi audituri ale etapelor care alcătuiesc *ciclul de viață al unui produs*.

Dacă într-o organizație (firmă, companie, întreprindere, fabrică etc.) asigurarea calității este folosită ca instrument de lucru al conducerii, aceasta generează *încrederea internă*.

Dacă asigurarea calității este folosită în situații contractuale, aceasta generează *încrederea externă*.

Din punct de vedere istoric, asigurarea calității a apărut ulterior controlului statistic, din necesitatea de a economisi timp şi mijloace. Astfel, dacă într-o organizație lucrurile sunt puse la punct şi fiecare membru al său ştie ce are de făcut, dacă produsul n este bun, atunci poate să existe încrederea că şi produsul n+1 va fi de asemenea bun. Aceasta evoluție a modului de a privi calitatea şi controlul acesteia a însemnat deplasarea atenției de la controlul particular al produsului la controlul general al managementului organizației furnizoare de produse sau prestatoare de servicii.

Asigurarea calității poate fi privită şi drept o problemă de imagine a firmei,

astfel, orice prezentare a firmei şi a produselor sau serviciilor furnizate de aceasta trebuie să facă referire şi la problematica certificării calităţii.

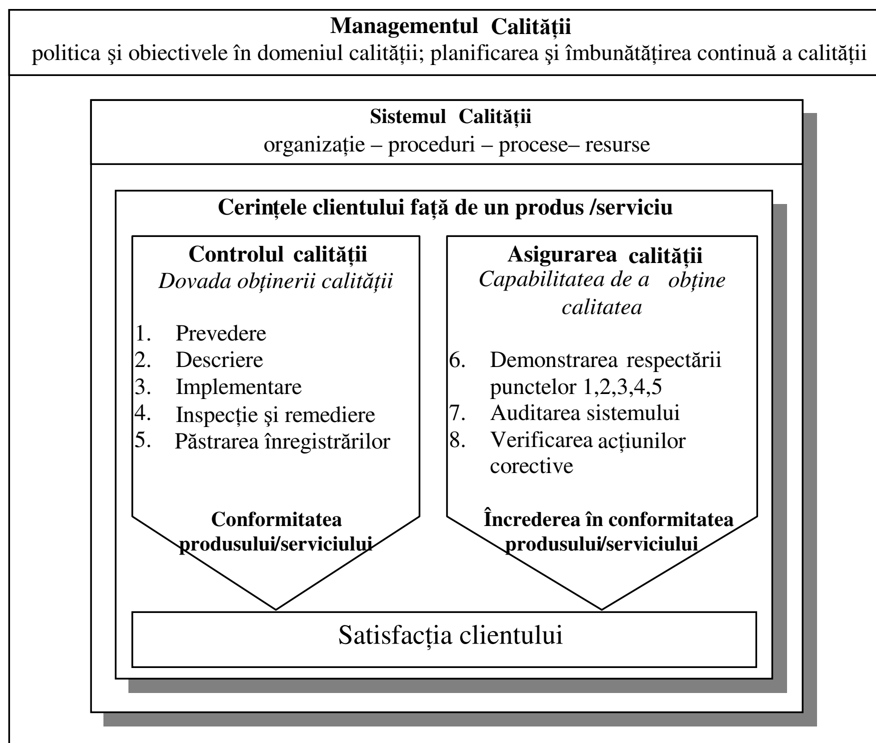


Fig. 14.6. Definirea asigurării calităţii.

14.3.1. Asigurarea calităţii în proiectare

Calitatea unui produs sau serviciu depinde în mod fundamental de activitatea de proiectare şi concepţie. Circa 80% din calitatea produsului sau serviciului este stabilită încă din concepţie. Altfel spus, aptitudinea de a satisface cerinţele exprimate sau subînţelese ale clientului faţă de un produs sau serviciu este dată de proiectant. Numai 20% din calitate mai poate fi influenţată (în bine sau în rău) de execuţie; rezultă, din cele arătate, că de activitatea proiectanţilor depinde succesul sau eşecul pe piaţă al unui produs sau serviciu.

În activitatea de proiectare şi concepţie trebuie inclusă şi stabilirea temei de proiectare prin activităţi de analiză şi de prognoză a pieţei - *marketingul*. Numai dacă au fost identificate corect cerinţele clienţilor şi exigenţele pieţei, precum şi prognozată evoluţia ulterioară a acestora, avându-se în vedere decalajul care există

între momentul cererii şi cel al ofertării produsului spre vânzare, se poate trece la activitatea de proiectare propriu-zisă.

Controlul activităţii de proiectare are în vedere supravegherea ciclului de realizare a unui proiect, de la analiza şi formularea cerinţelor pieţei (*datele de intrare* în proiect), până la darea în execuţie a proiectului (*datele de ieşire* din proiectare), aşa cum se vede în figura 14.7. În această activitate trebuie incluse *proiectarea tehnologică* şi *pregătirea fabricaţiei* (selecţionarea procedeelor de fabricaţie, stabilirea parametrilor de proces, stabilirea tehnologiei de control, proiectarea şi realizarea SDV-urilor specifice).

Cercetare /Dezvoltare
Planificarea producţiei
Pregătirea fabricaţiei
Urmărirea producţiei
Mecano-energetic
Furnizori
Clienţi
Aprovizionare
Fabricaţie componente
Montaj
Desfacere
Asigurarea Calităţii

Fig. 14.7. Circuitele asigurării calităţii:
→ fluxul material; → fluxul informaţional.

Supravegherea etapelor proiectării se poate realiza practic în baza unor proceduri specifice, care trebuie să ofere răspuns la următoarele aspecte:

- *planificarea prealabilă a proiectării*; planul de proiectare astfel întocmit trebuie să conţină: identificarea activităţilor de conceptie şi proiectare, precizarea cerintelor de competenţe şi de resurse pentru fiecare activitate, distribuţia responsabilităţilor pentru fiecare activitate;
- *evaluarea şi aprobarea planului de proiectar*e;
- *definirea interfeţelor cu celelalte compartimente* ale firmei, necesare pentru fiecare activitate inclusă în plan;
- *modul de obţinere a datelor de intrare* pentru proiectare;
- *modul de prezentare a datelor de ieş*ire din proiectare, necesare pentru execuţie;
- *proiectul trebuie să includă clar specificate*: cerinţele clientului, cerinţele de siguranţă în funcţionare, cerinţele impuse de reglementări legale în vigoare;
- *modul de verificare şi de avizare a proiectelor*, care să includă drept criterii: usurinţa fabricaţiei (accesibilitatea şi eficienţa utilizării echipamentelor din

producţie), precizarea cerinţelor de control împreună cu specificaţiile aferente (evaluarea raportului dintre acestea şi satisfacerea cerinţelor clientului), precizarea cerinţelor de fiabilitate şi de mentenabilitate, prezenţa documentaţiei de utilizare şi de service;

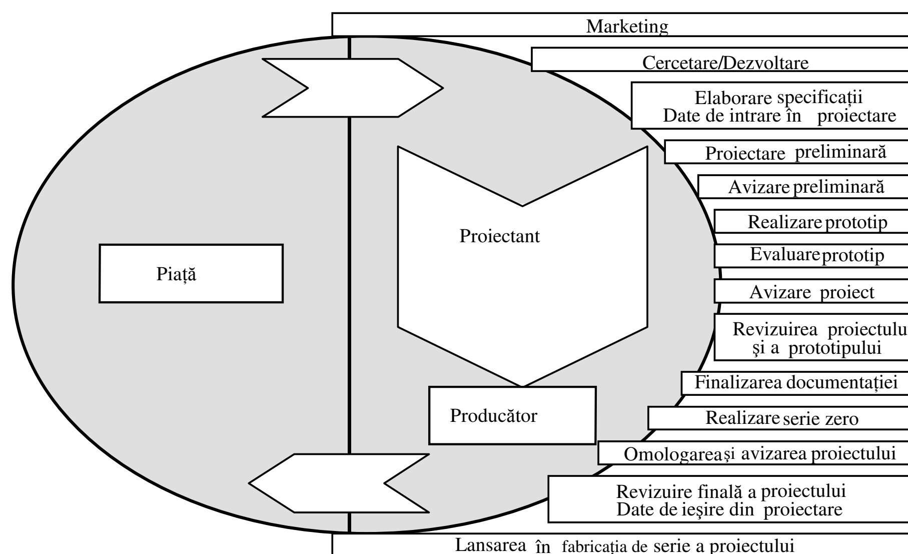


Fig. 14.8. Ciclul de realizare a unui proiect.

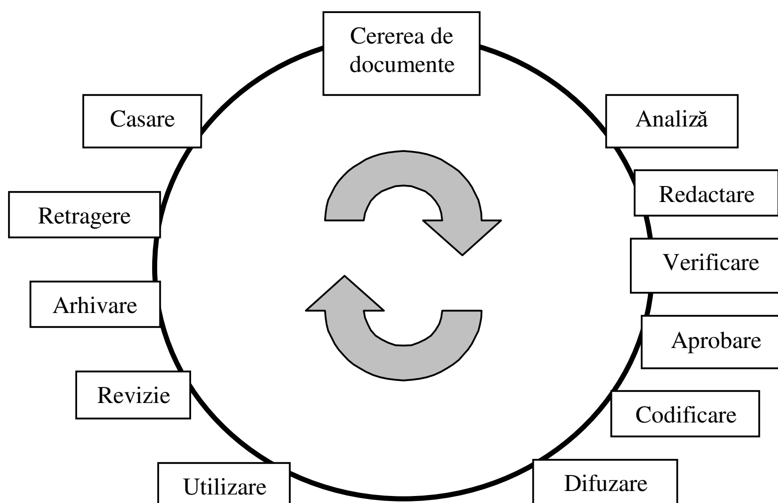


Fig. 14.9. Ciclul de viaţă al documentaţiei.

- *modul de efectuare a încercărilor de omologare*;

- *modul de verificare a competenţelor* celor implicaţi în realizarea proiectului;

- *modul de efectuare* şi de *avizare a reviziilor proiectului;*

- *modul de actualizare a documentaţiei de execuţie, aflate în producţie*.

14.3.2. Asigurarea calităţii în aprovizionare

În vederea realizării produselor sau serviciilor, orice firmă, întreprindere sau companie trebuie să se aprovizioneze cu o serie de materii prime, materiale, echipamente sau consumabile, ţinând cont de faptul că nu este posibil ca în cadrul uneia şi aceleaşi firme să se realizeze absolut toate produsele de care este nevoie pentru buna desfăşurare a activităţii curente. Majoritatea materialelor aprovizionate contribuie la atingerea nivelului de calitate al produsului finit, de aceea, activitatea de aprovizionare trebuie ţinută sub control.

Controlul aprovizionării, în conformitate cu standardele ISO 9000, se face prin:

- *evaluarea şi selecţia subcontractanţilor şi a furnizorilor* (criterii avute în vedere: capabilitatea furnizorilor de a îndeplini cerinţele de calitate impuse produsului sau serviciului; disponibilitatea echipamentelor şi a forţei de muncă; viabilitatea comercială şi financiară; capacitatea de producţie şi modul de respectare a termenelor; eficienţa sistemului de asigurare a calităţii la furnizor);

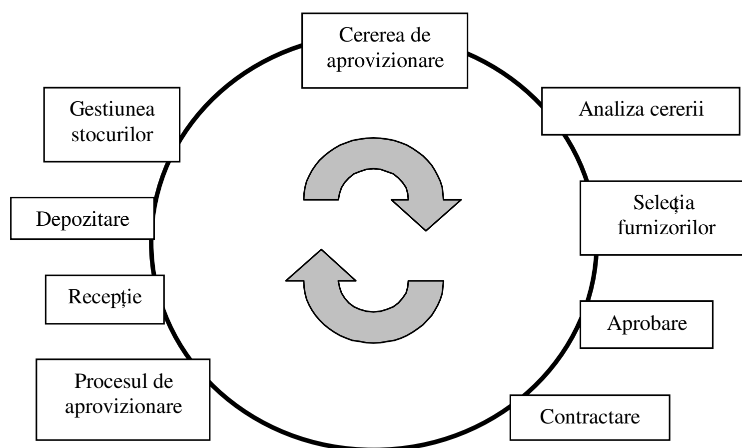


Fig. 14.10. Ciclul de aprovizionare.

- *însoţirea comenzilor şi contractelor de aprovizionare cu date, specificaţii, proceduri şi desene de execuţie*, care să descrie clar produsul sau serviciul comandat, ca şi exigenţele cerute furnizorului;

- *întocmirea de proceduri referitoare la calitate*, destinate posibililor subcontractanţi sau licitatori în timpul ofertării;

- *analizarea devizelor* prezentate de furnizori din perspectiva calităţii; clarificarea cerinţelor proprii impuse furnizorilor selectaţi şi stabilirea unui acord privind procedurile de asigurare a calităţii;

- *controlul produsului aprovizionat;*

- *asistenţa acordată subcontractanţilor sau furnizorilor* prin: instruire, consultanţă şi SDV-uri;

- *monitorizarea calităţii produsului şi a sistemului de asigurare a calităţii la furnizor;*

- *analizarea performanţelor subcontractanţilor* sau *furnizorilor* după onorarea comenzilor.

14.3.3. Asigurarea calităţii în producţie

Activităţile de producţie cuprind fabricaţia componentelor şi montarea acestora. Prin aceste activităţi se realizează fizic produsul proiectat în prealabil.

Asigurarea calităţii în producţie include următoarele aspecte:

- stabilirea capabilităţii proceselor tehnologice;
- inspectarea şi supravegherea proceselor tehnologice;
- încercarea produselor în diferite faze importante;
- controlul proceselor de fabricaţie;
- întreţinerea, calibrarea şi gestionarea echipamentelor (utilaje, maşini şi instalatii de proces, SDV-uri şi AMC-uri);
- identificarea, trasabilitatea şi gestionarea materialelor şi a produselor;
- controlul şi supravegherea utilităţilor (apă, aer comprimat, gaz, energie electrică) şi a factorilor de mediu (temperatură, umiditate, viteza relativă a aerului, curăţenie, zgomot, vibraţii, iluminat, noxe, radiaţii);
- analiza şi controlul produselor neconforme;
- controlul documentelor.

Monitorizarea producţiei cuprinde:

- controlul intrărilor (materii prime şi materiale, utilităţi, factori de mediu, informaţii);
- controlul circuitului productiv (identificarea materilor prime, a pieselor şi a documentelor);
- controlul echipamentelor de lucru;
- monitorizarea feed-back-ului în scopul îmbunătăţirii procesului.

În fluxul de producţie trebuie stabilite *puncte de control*, alese astfel încât să se obţină minimizarea efectelor erorilor şi creşterea *eficienţei proceselor*.

14.3.4. Asigurarea calității în testare/încercări finale

Încercările finale sunt deosebit de importante, întrucât de rezultatul lor (stabilirea măsurii în care produsul este conform cu specificațiile) depinde *eliberarea produsului în vederea comercializării*. La testele finale trebuie să se ia în considerare, pe de o parte, reglementările privind *răspunderea juridică asupra produsului fabricat sau comercializat*, iar, pe de altă parte, *totalitatea înregistrărilor calității* efectuate anterior (înregistrările efectuate de furnizor, inspecțiile de recepție, cele de pe fluxul de fabricație etc.). Pe baza datelor culese anterior, susținute de dovezi credibile (supervizate de compartimentul de asigurare a calității), volumul inspecțiilor finale poate fi redus la minimum, acestea fiind completate de toate celelalte inspectii premergatoare efectuate asupra materiilor prime, componentelor sau subansamblurilor produsului respectiv.

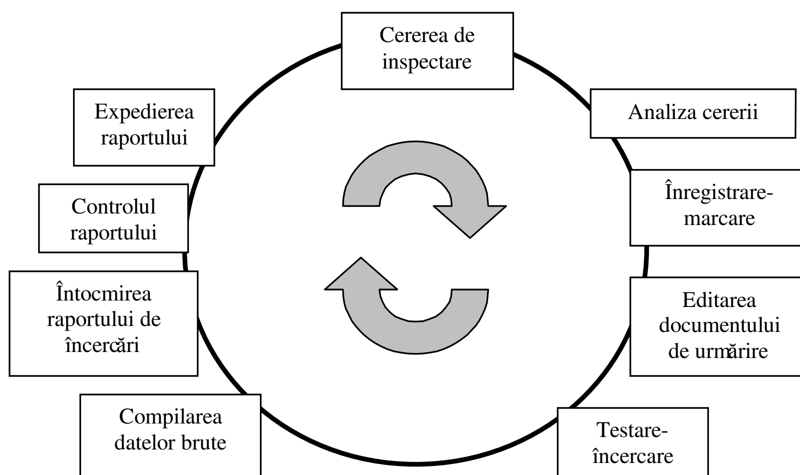


Fig. 14.11. Ciclul de inspecţie-testare.

14.3.5. Asigurarea calității în activitățile post producție

Aceste activități cuprind de regulă: *conservarea*, *ambalarea*, *manipularea*, *depozitarea*, *identificarea*, *montajul* şi *punerea în funcțiune* a unor produse fabricate anterior. Acestor activități trebuie să li se acorde o importanță la fel de mare ca şi celor legate nemijlocit de realizarea produselor; un produs conform cu specificațiile poate fi compromis prin nişte activități post producție necorespunzătoare.

Conservarea are ca scop menținerea caracteristicilor produsului după fabricare şi până la punerea în funcțiune, pe parcursul manipulării, depozitării, transportului, livrării şi montajului. Conservarea trebuie să asigure; protecția contra

coroziunii, protecţia calităţii suprafeţelor contra zgârierii, protecţia contra deformării, spargerii, fisurării, lovirii, căderii, răsturnării, trântirii, ori strivirii accidentale a produsului. Un rol important în conservarea produsului revine ambalajului. În cazul produselor sensibile trebuie să se prevadă specificaţii privind conservarea, ambalarea, transportul, manipularea.

Ambalarea joacă un rol important, atât în conservarea produsului, cât şi în atractivitatea acestuia faţă de client. Trebuie avut în vedere că primul contact al clientului cu produsul se face prin intermediul ambalajului, de atractivitatea acestuia depinzând în mare măsura vânzarea produsului.

Ambalajul trebuie să asigure:

- protecţia produsului (ambalajul trebuie să fie suficient de solid, rezistent la factorii de mediu şi la modul de transport şi manipulare);
- să faciliteze transportul şi manipularea produsului fără a-l deteriora (ambalajul trebuie să se încadreze în nişte forme şi dimensiuni tipizate, care corespund tipului de transport utilizat: europalete, transcontainere, cărucioare, elevatoare etc.);
- ambalajul trebuie să aibă marcat la loc vizibil semnele convenţionale corespunzătoare instrucţiunilor de transport, manipulare şi depozitare;
- să ofere informaţii suficiente asupra produsului;
- să atragă clientul (ambalajul se alege în raport cu piaţa de desfacere şi tradiţia cu care sunt obişnuiţi clienţii);
- să se înscrie într-un *circuit de protecţie a mediului* (reciclare, recuperare, refolosire a materiale biodegradabile, nepoluante).

Identificarea este necesară pentru a se putea localiza produsul şi a se determina traseul acestuia. Marcajele şi etichetele trebuie să fie uşor lizibile şi durabile. Între controlul final al produselor şi livrarea la beneficiar marcajul trebuie să se păstreze, astfel încât să se permită oricând o inspecţie suplimentară. Marcajul apare obligatoriu, atât pe ambalaj, cât şi pe fiecare produs în parte. Adeseori, identificarea corespunzătoare a produsului este indispensabilă pentru operaţiile de întreţinere, service în garanţie şi post garanţie, precum şi la supravegherea în exploatare. Pentru produsele exportate sau importate, este necesară redactarea marcajelor în limba clientului.

Manipularea produselor trebuie specificată în documentele însoţitoare ale produselor şi pe ambalaj, de regulă, prin semne convenţionale, recunoscute internaţional. Manipularea se face manual în cazul produselor de dimensiuni mici, uşoare, ambalate individual sau în colete mici şi mecanizat în celelalte cazuri. Pentru a nu se deteriora produsele, este necesar ca să se respecte cu stricteţe indicaţiile furnizorului şi ca să existe dotarea corespunzătoare (cărucioare, vagoneţi, electrocare, stivuitoare, lize, electropalane, macarale, poduri rulante etc.)

Depozitarea are drept scop: echilibrarea cantităţilor sau a sortimentelor livrate, concilierea termenelor între momentul ofertei şi cel al onorării cererii, echilibrarea diferenţelor dintre diversele secţii de producţie etc.

Din punct de vedere al asigurării calităţii, depozitarea trebuie să asigure:
- protecţia produselor;
- condiţii favorabile de recepţie şi de expediere a produselor;
- urmărirea produselor perisabile;
- controlul rotirii stocurilor;
- controlul substanţelor periculoase.

Montajul produsului la beneficiar trebuie să asigure:
- funcţionarea produsului la parametrii şi în condiţiile stabilite de producător;
- menţinerea performanţelor produsului;
- furnizorul trebuie să asigure instrucţiuni scrise pentru montaj (în caietul de sarcini);
- în cazul unor produse complexe, furnizorul trebuie să asigure echipe specializate pentru montaj la sediul beneficiarului;
- proiectantul produsului trebuie să aibă în vedere adoptarea acelor soluţii contructive care să prevină montajul incorect.

Punerea în funcţiune, întreţinerea şi activitatea service. Asigurarea calităţii acestor activităţi şi, implicit, a produsului trebuie să aibă în vedere:
- evidenţa intervenţiilor;
- gestiunea şi supravegherea metrologică a AMC-urilor şi a SDV-urilor utilizate la depanare;
- folosirea de piese de schimb originale, noi;
- personal de intervenţie calificat (în unele cazuri acesta trebuie să fie şi certificat în specialitate);

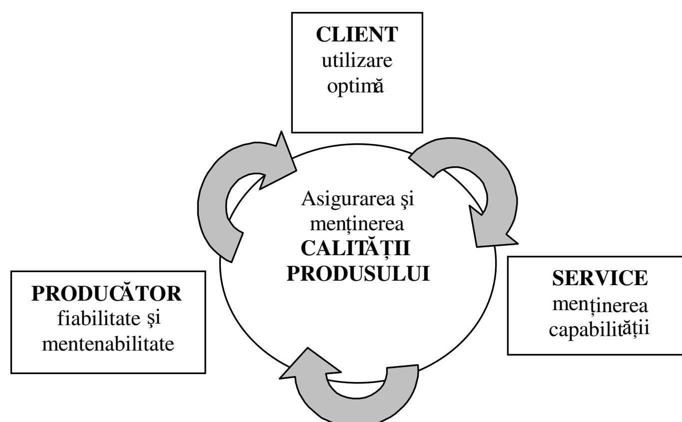


Fig. 14.12. Triada producător-client-service.

- întocmirea de proceduri de analiză şi diagnosticare a defectelor produselor aflate în service;

- monitorizarea produselor vândute, atât a celor aflate în garanţie, cât şi post garanţie;

- supravegherea şi gestionarea eficientă a circuitului informaţional (sesizările clienţilor şi observaţiile depanatorilor să ajungă cât mai rapid la proiectantul produsului, în vederea îmbunătăţirii proiectului şi a tehnologiilor de execuţie şi testare).

În triada *producător-client-service* producătorul este răspunzător pentru asigurarea fiabilităţii şi mentenabilitatii produsului, utilizatorul pentru folosirea optimă a produsului cumpărat, iar service-ul este răspunzător pentru menţinerea capabilităţii produsului. Împreună, toţi îşi aduc contribuţia la asigurarea şi menţinerea calităţii produsului (fig. 14.12).

14.4. METODE DE INSPECTARE A PRODUSELOR MATERIALE (HARDWARE)

Specific produselor materiale sunt proprietăţile funcţionale. Acestea sunt definite ca suma de relaţii care se stabilesc între materialul din care este confecţionată piesa şi fenomenele din mediul în care se găseşte sau funcţionează piesa respectivă. Proprietăţile funcţionale pot fi relativ uşor măsurabile, iar gradul în care acestea satisfac cerinţele impuse prin prescripţiile tehnice de execuţie exprimă tocmai *nivelul de calitate* al produsului respectiv.

14.4.1. Metode de inspectare distructivă

Aceste metode sunt utilizate pentru determinarea unor proprietăţi ale materialelor din care sunt confecţionate piesele. În majoritatea cazurilor sunt utilizate piese de probă, numite *epruvete*, care sunt eşantioane prelevate din materialul pieselor respective. Epruvetele au o anumită mărime şi formă, care sunt standardizate, astfel încât să permită interpretarea corectă a rezultatelor încercării. Prelevarea epruvetelor se poate face: fie din deşeurile rămase de la prelucrarea piesei respective, din mostrele extrase la elaborarea materialului, din probe executate o dată cu fabricarea piesei respective sau din piese de sacrificiu.

Excepţie de la cazurile în care sunt utilizate epruvete fac încercările de *anduranţă*, caz în care sunt utilizate piese, subansamble, maşini sau aparate reale, în condiţii de funcţionare reale sau simulate, încercările desfăşurându-se pe standuri de probă, în poligoane sau pe piste de încercare (de exemplu: testarea motoarelor, a autovehiculelor, a aeronavelor, a prototipurilor etc.).

Întrucât principalele metode de inspectare distructivă au fost descrise anterior, în capitolul 2 al prezentei lucrări, în prezentul capitol sunt doar reamintite (tabelul 14.1) fiind detaliate numai *încercările de mediu*.

Tabelul 14.1. *Metode de inspectare distructivă*

Nr. crt.	Grupa/Destinaţia	Denumirea	Descriere la
1	Încercări de determinare a caracteristicilor fizico-chimice	determinarea compoziţiei chimice	2.4.1.
		determinarea microstructurii	2.4.2.
		determinarea macrostructurii	2.4.2.
		determinarea proprietăţilor fizice (chimice, magnetice, electrice, optice, acustice, nucleare, cuantice, mecanice etc.)	2.4.3.1.
2	Încercări de rezistenţă mecanică	încercarea la rupere (tracţiune, compresiune, încovoiere, torsiune, forfecare)	2.4.3.3.a.-e.
		încercarea la oboseală	2.4.3.3.h.
		încercarea la fluaj	2.4.3.3.i.
		încercarea la încovoiere prin şoc	2.4.3.3.g.
		determinarea durităţii	2.4.3.3.f.
		încercări tribologice	-
3	Încercări de rezistenţă la acţiunea mediului	testarea la coroziune	2.4.3.1.
		testarea la iradiere	-
4	Încercări tehnologice	determinarea turnabilităţii	2.4.4.1.
		determinarea deformabilităţii	2.4.4.2.
		determinarea aşchiabilităţii	2.4.4.3.
		determinarea sudabilităţii	2.4.4.4.
		determinarea călibilităţii	2.4.4.5.
5	Încercări funcţionale	încercări de prototip	-
		teste de anduranţă	-

Încercările de mediu sunt destinate să demonstreze că o probă este aptă să reziste şi să funcţioneze în condiţii de mediu determinate. Încercările se pot face fie prin expunerea produsului la condiţiile de mediu respective (reale sau simulate), fie prin testarea produsului la efectele condiţiilor de mediu. Reproducerea fidelă a condiţiilor reale de mediu este practic imposibilă, iar, de cele mai multe ori, condiţiile reale de utilizare ale produsului nu sunt complet cunoscute. Din aceste cauze încercările climatice sunt accelerate, prin creşterea solicitărilor reale. Principalele efecte ale factorilor de mediu sunt trecute în revistă în tabelul 14.2.

Tabelul 14.2. *Efectele factorilor de mediu luaţi separat*

Factorul de mediu		Efecte	Defecte rezultate
Temperatura	scăzută	Fragilizare; Formarea gheţii ; Creşteri de vâscozitate, solidificare; Pierderea rezistenţei mecanice; Contracţii fizice	Defecte ale izolaţiilor, fisurări, defectări mecanice, creşterea uzurii părţilor mobile, defecte ale etanşărilor şi armăturilor

Tabelul 14.2. (*continuare*)

	ridicată	Îmbătrânire termică, oxidare; fisurare, reacţii chimice; Înmuiere, topire, sublimare; Reducerea vâscozităţii, evaporare; Dilatare	Defecte ale izolaţiilor, defectări mecanice, creşterea tensiunilor mecanice, uzura părţilor mobile datorită dilatării sau pierderii proprietăţilor lubrifiante
	variaţii rapide	Şoc termic Încălziri diferenţiate	Defecte mecanice, fisuri, crăpături, deteriorarea garniturilor, scurgeri
Presiune	scăzută	Dilatare Scăderea rigidităţii dielectrice a aerului Efluvii electrice, formare de ozon Reducerea răcirii	Degradări mecanice, crăpături, defecte de etanşeitate, supraîncălziri
	ridicată	Compresiune, deformare	Degradări mecanice, fisurare, defecte de etanşeitate
Umiditate relativă	scăzută	Pierderea apei Fragilizare Pierderea rezistenţei mecanice Contracţie Creşterea abraziunii între contactele mobile	Degradări mecanice, fisurare
	ridicată	Absorbţia şi adsorbţia de umiditate, umflare, pierderea rezistenţei mecanice, reacţii chimice, coroziune, electroliză, creşterea conductivităţii izolanţilor	Rupturi, defecte ale izolaţiilor, degradări mecanice
Radiaţie solară		Reacţii chimice şi fotochimice Deteriorarea suprafeţei Fragilizare Decolorare, formare de ozon, Încălzire, încălzire diferenţiată şi tensiuni mecanice	Defecte ale izolaţiilor, similar cu temperatura ridicată
Atmosferă corozivă		Reacţii chimice, coroziune, electroliză Deteriorarea suprafeţei Creşterea conductivităţii Creşterea rezistenţei de contact	Creşterea uzurii, defecte mecanice, defecte electrice
Praf şi nisip		Uzură, eroziune, ancrasări Depuneri de materiale Deteriorarea suprafeţei	Creşterea uzurii, defecte mecanice, defecte electrice
Vânt		Aplicarea unor forţe Uzură, eroziune, ancrasări Depuneri de materiale Inducerea de vibraţii	Deformări de structură, degradări mecanice
Ploaie		Absorbţie de apă Şoc termic Eroziune, coroziune	Defecte electrice, fisurare, crăpături, deteriorarea suprafeţei
Grindină		Eroziune Şoc termic Deformare mecanică	Deformarea structurii, deteriorări ale suprafeţelor

Tabelul 14.2. (*continuare*)

Zăpadă, gheață	Solicitări mecanice Absorbție de apă Şoc termic	Deformarea structurii, eroziune, coroziune
Ozon	Oxidare rapidă Fragilizare, scăderea rigidității dielectrice a aerului	Defecte electrice, defecte mecanice, ruperi, fisuri
Accelerații, vibrații, şocuri	Tensiuni mecanice, uzură Rezonanță	Defecte mecanice, creşterea uzurii părților mobile, deformarea structurii
Iradiere	Ionizarea materialelor Deplasarea atomilor din rețeaua cristalină Efecte termice	Scăderea proprietăților mecanice, scăderea conductivității electrice şi termice
Mucegaiuri	Scăderea caracteristicilor mecanice Modificări ale proprietăților fizice Îmbătrânirea materialului de bază	Deteriorarea izolației, variația proprietăților electrice, defecte mecanice

14.4.2. Metode de inspectare nedistructivă

Acest tip de metode prezintă avantajul că aplicarea lor nu afectează caracteristicile produsului inspectat. Din această cauză, ele au o largă răspândire în toate ramurile economice: industrie, construcții, agricultură, cercetare.

Tabelul 14.3. *Metode de inspectare nedistructivă*

Nr. crt.	Grupa/Destinația	Utilizare	Denumirea	Descriere la
1	Diagnoza externă a pieselor	determinarea culorii	controlul optico-vizual controlul colorimetric	- -
		determinarea rugozității	controlul optico-vizual	1.2.3.2.d
		determinarea formei şi a volumului	controlul dimensional	1.2.3.2.a-c
			controlul holografic	2.4.5.6
			controlul prin cântărire	-
		determinarea defectelor de suprafață	controlul optico-vizual	-
			controlul cu radiații penetrante	2.4.2.2.a
			controlul cu ultrasunete	2.4.2.2.b
			controlul cu pulberi magnetice	2.4.2.2.c
			controlul cu lichide penetrante	2.4.2.2.d
			controlul prin curenți turbionari	2.4.5.1
			controlul tomografic	2.4.5.3
			controlul termografic	2.4.5.4
			controlul cu microunde	2.4.5.5
			controlul holografic	2.4.5.6

Tabelul 14.3. (*continuare*)

2	Diagnoza internă a pieselor	determinarea defectelor interne	controlul cu radiaţii penetrante	2.4.2.2.a
			controlul cu ultrasunete	2.4.2.2.b
			controlul cu pulberi magnetice	2.4.2.2.c
			controlul cu lichide penetrante	2.4.2.2.d
			controlul prin curenţi turbionari	2.4.5.1
			controlul tomografic	2.4.5.3
			controlul termografic	2.4.5.4
			controlul cu microunde	2.4.5.5
			controlul holografic	2.4.5.6
3	Prognoza piesei (durată de viaţă, comportare în funcţionare)	determinarea descriptorilor calităţii (durabilitate, fiabilitate, capabilitate, disponibilitate, mentenabilitate, operabilitate, siguranţa în funcţionare)	modele fizice şi matematice de descriere şi evaluare calitativă şi cantitativa a cauzelor şi efectelor defectelor	-
			modele statistice	-
			metode previzionale (AMDEC, arborele de defectare)	-

Întrucât principalele metode de inspectare nedistructivă au fost descrise anterior, în capitolul 2 al prezentei lucrări, aici prezentăm doar un tabel recapitulativ.

14.4.3. Inspectarea automată

În producţia de serie se preferă utilizarea metodelor de inspecţie nedistructivă integrate în *sisteme automate de inspecţie*, care au avantajul scurtării timpului neproductiv, în condiţii de fiabilitate ridicată a controlului.

Un sistem automat de inspecţie poate utiliza una sau mai multe metode de inspectare nedistructivă, care sunt dezvoltate în funcţie de cazul concret al aplicaţiei.

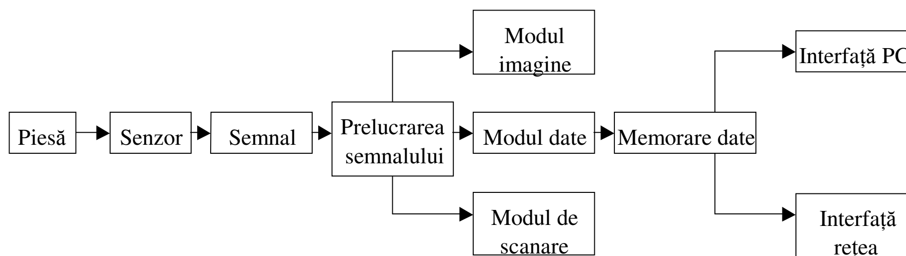


Fig. 14.13. Schema bloc a unui sistem de inspecţie automat.

Piesa este inspectată cu ajutorul unor *senzori* specifici metodei de control (*optico-vizual*, *emisie acustică*, *ultrasunete*, *radiații penetrante* etc.), semnalul este preluat şi prelucrat, este comparat cu *semnalul de referință* (memorat în prealabil în *banca de date de referință*) şi se comandă *dispozitivele de sortare a pieselor*, în raport cu *verdictul controlului*. Rezultatul este memorat, în vederea prelucrării în continuare a rezultatelor controlului şi optimizării procesului care a generat piesele inspectate.

14.5. METODE DE INSPECTARE A PRODUSELOR CU SUPORT MATERIAL (SOFTWARE)

Specific acestor produse este lipsa unui material din care este confecționat produsul, materialul acestuia având numai rolul de suport. În acest caz, prin testarea unor proprietăți ale materialului suport nu pot fi trase concluzii asupra proprietăților funcționale ale produsului şi, în consecință, nici asupra nivelului calitativ al produsului respectiv.

În aceste situații, se recurge la *controlul preventiv*, prin punerea la punct în detaliu a cadrului de desfăşurare a producției, astfel încât, prin controlul tehnico-organizatoric al fiecărei etape de realizare a produsului, adică a întregului proces de realizare a produsului, să fie prevenită apariția produselor neconforme (similar cu controlul activitatii de proiectare şi a se vedea asigurarea calitatii în proiectare).

Conform standardului SR ISO 9000-3 din 1995 *Ghid pentru aplicarea* ISO 9001 *la dezvoltarea, livrarea şi mentenanța software-ului*, sunt definite următoarele elemente:

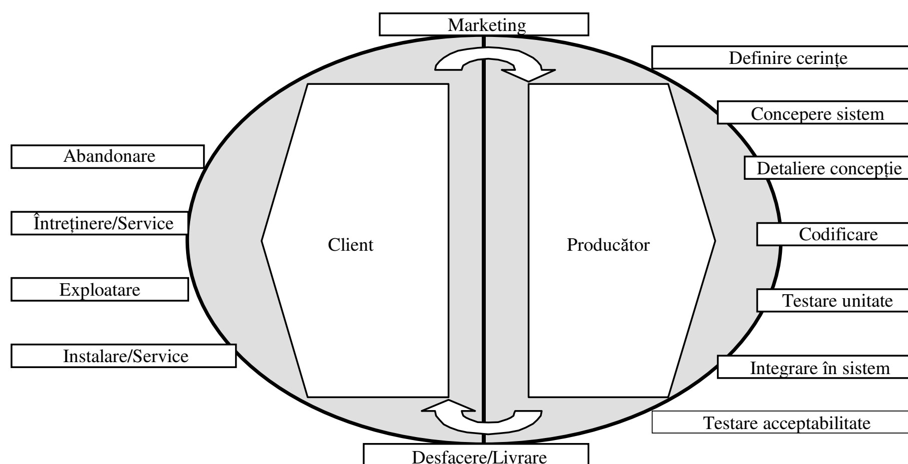


Fig. 14.14. Ciclul de viață al produsului software.

- *software:* creaţie intelectuală care cuprinde programe, proceduri, reguli şi orice documentaţie asociată referitoare la funcţionarea unui sistem de prelucrare a datelor; un software este independent de suportul pe care este înregistrat;

- *produs software:* ansamblul complet format din programe, proceduri şi documentaţia asociată pentru calculator, precum şi datele destinate să fie livrate unui utilizator;

- *verificare* (pentru software): procesul de evaluare a produselor aflate într-o fază dată, pentru a se asigura precizia şi compatibilitatea faţă de produsele şi standardele furnizate ca date de intrare pentru această fază.

14.6. METODE DE INSPECTARE A SERVICIILOR

Serviciile pot fi definite ca rezultate ale activităţilor desfăşurate la *interfaţa client/furnizor*, precum şi alte altor activităţi interne ale furnizorului, destinate satisfacerii cerinţelor clientului. Iniţial, termenul de servicii includea numai acele activităţi defăşurate la interfaţa dintre client şi prestator; însă, o dată cu impunerea managementului calităţii totale în cadrul firmelor, diversele compartimente funcţionale ale acestora au început a fi tratate independent, conform principiului „next process is a consumer” (următorul proces pe fluxul tehnologic este un consumator/client). O cale de viabilizare a firmelor integrate este externalizarea unor servicii, fapt ce conduce la lărgirea gamei de servicii oferite pe piaţă. Pot exista servicii independente, furnizate ca atare, sau dependente de un anumit produs, pe care îl însoţesc (în acest caz serviciile completează atractivitatea produsului pentru piaţă).

Deosebirile dintre un produs şi un serviciu pot fi enunţate astfel:

- *imaterialitatea şi intangibilitatea*: serviciului nu i se pot asocia caracteristici obiective palpabile, imaginea serviciului este subiectivă;

- *multiciplitatea:* serviciul presupune mai multe etape diferite sau complementare, care concură la ofertarea serviciului;

- *perisabilitatea în timp*: produsul este durabil, în timp ce serviciul este furnizat (prestat) la un anumit moment; se consideră că producerea şi consumul serviciului se fac simultan.

- *variabilitatea*: serviciul depinde în mare măsură de competenţa, experienţa, conştiinciozitatea, probitatea morală şi renumele prestatorului;

- *integrarea clientului*: clientul participă la producerea şi consumarea serviciului în mod direct (servicii de sănătate, de educaţie şi de instruire, de cosmetică şi coafură, de *fitness*, masaj, *body-building*) sau indirect (alimentaţie publică, turism, servicii bancare, administraţie, servicii IT, servicii de întreţinere şi reparaţii, servicii de transport, încărcare-descărcare, curăţenie-menaj etc.).

În industrie pot fi identificate următoarele tipuri de servicii, corespunzătoare compartimentelor funcţionale ale unei întreprinderi, conform

tabelului 14.4. Se poate observa că unele dintre servicii însoţesc produsul, facilitând realizarea (proiectarea şi execuţia) sau vânzarea acestuia, iar altele se referă la buna funcţionare a firmei şi la relaţiile ei cu mediul extern (acţionari, clienţi, comunitate locală, furnizori, stat şi societate).

Tabelul 14.4. *Tipuri de servicii existente in industrie*

Nr. crt.	Tipul serviciului	Denumirea serviciului
1	Servicii de marketing	Analiza pieţei Chestionare clienţi Reclamă
2	Servicii de proiectare	Documentare Editare Redactare Distribuţie Arhivare
3	Servicii manageriale	Consultanţă Secretariat Protocol
4	Servicii în producţie	Transport Deservire maşini, utilaje, locuri de muncă Întreţinere maşini, utilaje, locuri de muncă Asistenţă tehnică în execuţie Menţinerea curăţeniei Asigurarea utilităţilor Depozitare
5	Servicii post-producţie	Transport Depozitare
6	Servicii de aprovizionare	Selectare furnizori Asistenţă furnizori Transport, livrare, recepţie
7	Servicii de desfacere	Vânzări Asistenţă clienţi Transport, livrare
8	Servicii post-desfacere	Punere în funcţiune Instruire şi asistenţă clienţi Urmărire reclamaţii şi sesizări Întreţinere Service
9	Servicii comerciale	Contractare Facturare
10	Servicii financiar-contabile	Controlling Urmărirea producţiei şi a stocurilor Gestiune fonduri fixe Gestiune fonduri circulante Normarea muncii Urmărirea costurilor
11	Servicii administrative şi de personal	Selecţia şi angajarea personalului Scolarizare/perfecţionare personal Protecţia muncii Asistenţa socială

Tabelul 14.4. (*continuare*)

12	Servicii de asigurare a calităţii	Urmărirea costurilor calităţii Audituri Controlul documentelor Asistenţa de specialitate
13	Servicii de control	Încercări finale Recepţie materiale Încercări pe flux Control statistic Control documente şi înregistrări
14	Servicii de consultanţă	Studii de fezabilitate Studii de marketing

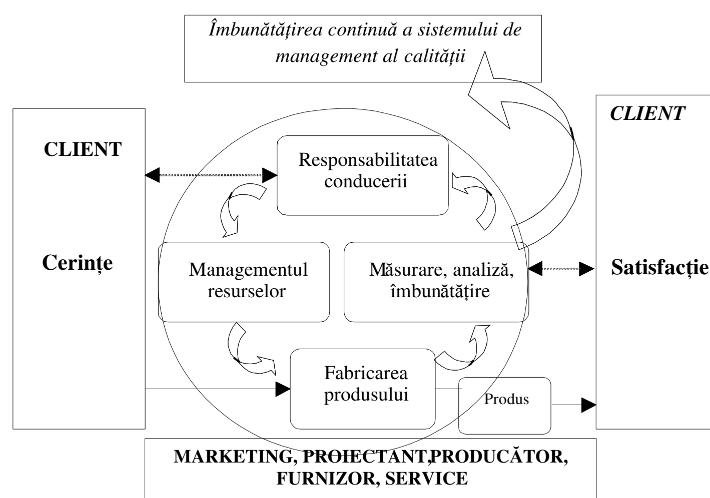


Fig.14.15. Abordarea calităţii serviciului din perspectiva procesului de bază: –→activităţi care adaugă valoare serviciului; – →fluxul informaţional.

În majoritatea cazurilor, controlul caracteristicilor serviciului şi ale prestării acestuia poate fi realizat numai prin controlul procesului de prestare a serviciului. Desfăşurându-se la interfaţa client/furnizor, orice neconformitate (abatere de la calitatea prescrisă) este imediat şi nemijlocit sesizată de către client. Din această cauză, măsurarea şi controlul procesului sunt absolut esenţiale (controlul pe flux şi nu controlul final).

Tabelul 14.5. *Abordarea serviciului din perspectiva procesului*

Tipul serviciului	Intrări	Elementele serviciului	Funcţia	Rezultate
Spital	Pacienţi	Medici, asistenţi medicali, infirmieri, medicamente, echipamente, infrastructură	Tratament şi vindecare	Persoane sănătoase

Tabelul 14.5. (*continuare*)

Restaurant	Clienți	Alimente, băuturi, ospătari, picoli, ambianță	Servitul mesei, odihna	Clienți satisfăcuți
Universitate	Studenți	Profesori, material didactic, publicații, cursuri, seminarii, săli de curs, laboratoare, biblioteci, cămine, cantine	Dobândirea de competențe și exercițiu, formarea profesională.	Persoane educate, competente
Magazin	Clienți	Expunere, bunuri, vânzători	Atragerea clienților, desfacerea produselor	Clienți satisfăcuți

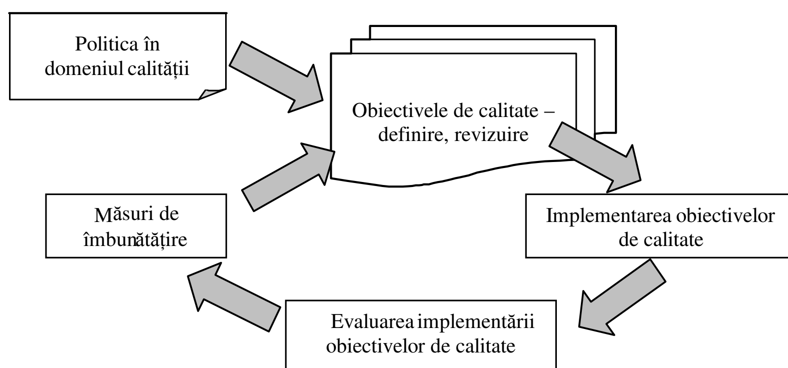


Fig. 14.16. Armonizarea cerințelor de calitate cu cererea pieței.

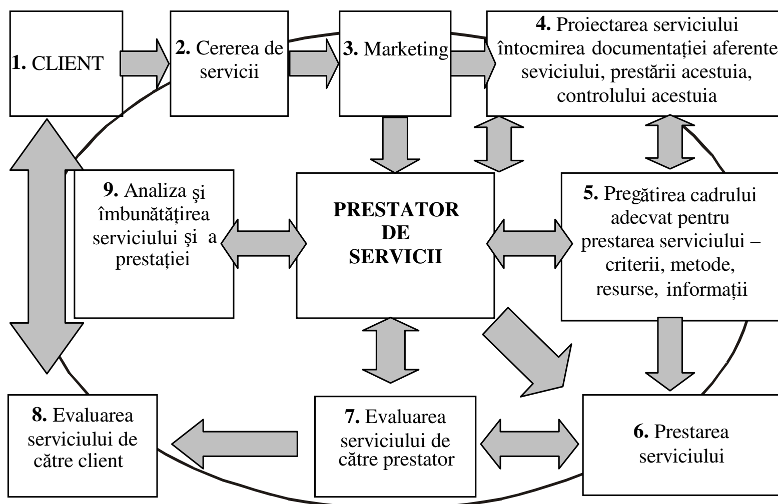


Fig. 14.17. Abordarea calității serviciului din perspectiva buclei calității serviciului.

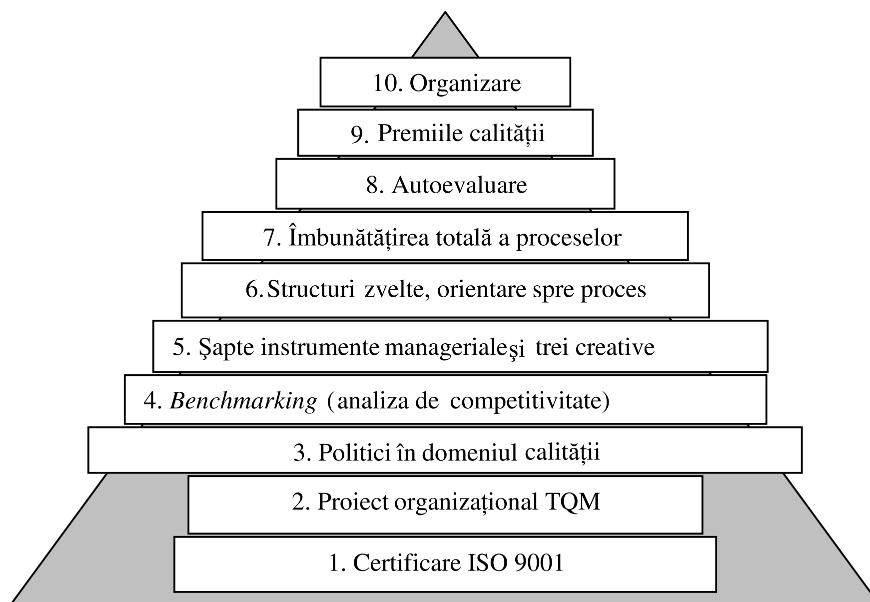


Fig. 14.18. Treptele spre excelență.

14.7. STABILIREA TEHNOLOGIEI DE CONTROL

14.7.1. Principii generale

Când se tratează despre calitate şi controlul/inspecția acesteia, trebuie mai întâi să se răspundă la următoarele cinci întrebări:

- ce se inspectează ?
- când se inspectează?
- cum se inspectează (după ce procedură, în raport cu care specificații, cu ce mijloace de lucru)?
- care sunt unitățile de măsură folosite ?
- care sunt criteriile de acceptare/respingere?

În scopul eficientizării proceselor de control, tehnologul trebuie să aibă în vedere următoarele:

- proiectantul trebuie să specifice în documentația de execuție *zonele* produsului care sunt *critice pentru obținerea calității*;
- inspecția să se *limiteze* la acele zone ale produsului care sunt critice pentru calitate;
- cu precădere se va verifica existența *defectelor tipice* induse de procedeele tehnologice utilizate la fabricarea produsului;

- controlul să fie *fracționat*, adică să se inspecteze de fiecare dată numai acele caracteristici ale produsului care au fost create sau modificate la operația tehnologică curentă;

- *productivitatea controlului* trebuie să se încadreze în productivitatea de execuție a produsului respectiv;

- *mijloacele de control* trebuie alese astfel încât să poată verifica mărimea abaterilor specificate;

- rezultatele procesului de control trebuie să se concretizeze în *valori calitative și cantitative* care se înscriu într-un document de înregistrare (buletin de măsurători);

- documentul de înregistrare trebuie să asigure *trasabilitatea*, adică identificarea sigură a produsului, a executantului şi a mijloacelor utilizate, precum şi a momentului la care s-au efectuat înregistrările.

14.7.2. Studiul specificațiilor

Specificațiile răspund la întrebările:

- ce se verifică;
- în raport cu ce date de referință;
- care sunt toleranțele admise;
- care sunt criteriile de defect admisibil.

Specificațiile sunt proprii unui produs sau familii de produse. Specificațiile pot fi sub forma unor norme tehnice de ramură, norme interne, caiete de sarcini, desene de execuție, desene de montaj, specificații contractuale etc.

Pe baza specificațiilor se întocmeşte *tema de inspecție*, care include indicatorii de calitate care trebuie verificați, valorile de referință, momentul inspecției, condițiile de încercare, caracterul producției.

Tehnologia de control se întocmeşte ținând seama de tema de inspecție.

Controlabilitatea produsului este un concept asemănător tehnologicității, ce exprimă măsura în care proiectantul şi tehnologul produsului au ținut seama la elaborarea proiectului constructiv şi a specificațiilor aferente, de uşurința verificării datelor de execuție, a conformității produsului şi a componentelor sale. Controlabilitatea produsului se realizează practic prin controlabilitatea proiectului şi a tehnologiei de control şi execuție.

Controlabilitatea produsului trebuie să cuprindă:

- înscrierea în documentație a clasificării defectelor/erorilor induse de tehnologiile de execuție, montaj şi control;
- capacitatea de verificare a specificațiilor;
- întocmirea planului de control în acord cu tehnologia de execuție şi montaj;
- definirea organizării şi conducerii fabricației.

14.7.3. Alegerea metodei de inspectare

Metoda de inspectare se alege în raport de tema de inspectare, de dotarea tehnică disponibilă, de criterii de eficienţă şi de productivitate. Pentru încercările de tip sau lot, în funcţie de specificaţii, pot fi utilizate metode de testare distructivă pe epruvete sau produse de sacrificiu (tabelul 14.1); pentru controlul integral sau cel statistic se utilizează metode de testare nedistructivă (tabelul 14.2).

Frecvent, în producţia de serie, se utilizează dispozitive de control la temă (calibre limitative) sau standuri de probă, care simulează funcţionarea reală a produsului.

Proiectarea acestor mijloace dedicate de control se face în colaborare cu tehnologul prodususului, ca parte integrantă a pregătirii fabricaţiei – realizarea SDV-urilor (scule, dispozitive, verificatoare) şi a AMC-urilor (aparatură de măsură şi control).

14.7.4. Întocmirea procedurilor de control

Procesele de control şi inspecţie trebuie planificate corespunzător cerinţelor formulate în specificaţii. În cazul în care se lucrează într-un sistem de competenţă ridicată (certificare ISO 9001-9003 sau similar), trebuie să existe *proceduri* detaliate de control, testare, inspecţie. Nivelul de control ales depinde de tipul produsului şi de cerinţele clientului, care au fost stipulate contractual. În cazul produselor simple sunt suficiente proceduri de control tip (de exemplu, pe categorii de procedee de semifabricare: pentru piese turnate, forjate, sudate, prelucrate prin aşchiere, sinterizate). În cazul produselor complexe, utilizarea procedurilor tip va fi completată de proceduri speciale, mai amănunţite.

O procedură de control trebuie să conţină:

- identificarea şi controlul documentelor;
- produsul/serviciul/procesul/proiectul căruia îi este aplicabilă procedura în speţă;
- etapele, operaţiile, stadiile, momentele în care se aplică procedura;
- mijloacele de lucru utilizate;
- modul de lucru, parametrii de proces;
- personalul care aplică procedura, nivelul de competenţă;
- caracteristicile care se verifică;
- tipul de control ce trebuie efectuat (statistic sau integral), strategia de control;
- criteriile de acceptare/respingere;
- documentele de înregistrare, sistemul de evidenţă şi de arhivare a înregistrărilor;
- modul de tratare a neconformităţilor.

Pentru a fi citită şi înțeleasă, o procedură nu trebuie să conțină mai mult de 15 pagini.

14.7.5. Întocmirea planului calității

Planul calității (planul de control) este documentul care precizează practicile, resursele şi succesiunea activităților specifice referitoare la calitate, relevante pentru un anumit produs, proiect sau contract.

Planul calității se întocmeşte pentru produse, servicii sau procese complexe, de importanță deosebită. Când nu este cerut expres prin specificații sau contractual se poate întocmi numai o tehnologie simplificată de control. Planul calității este integrat în planul general al firmei şi este menționat în manualul calității al firmei – atunci când există un sistem certificat de management al calității.

Un plan al calității se referă la părțile *manualului calității* aplicabile într-un anume caz, pentru un proces, produs sau serviciu. În funcție de obiectivele planului, se pot utiliza denumiri precum: plan de asigurare a calității sau plan de management al calității.

Atunci când un furnizor nu are un sistem al calității, se poate compensa acest lucru (încrederea clienților în capabilitatea furnizorilor) prin *impunerea contractuală* a unui plan al calității pentru categoria de produse ce urmează a fi achiziționate.

Planul calității trebuie să definească:

- obiectivele de calitate urmărite (cerințele clienților transpuse în caracteristicile tehnice ale produsului);
- definirea şi repartizarea responsabilităților şi autorității pentru fiecare fază de execuție a proiectului;
- procedurile, metodele şi instrucțiunile de lucru aplicabile cazului în speță;
- încercările, inspecțiile, examinările, testările şi auditurile prevăzute pentru fiecare fază a proiectului;
- periodicitatea şi momentele efectuării încercărilor;
- eventualele puncte de oprire ale traseului tehnologic, specificarea condiționărilor contractuale;
- modalitatea de revizuire şi adaptare a planului calității.

Detalii tehnice privind întocmirea planului calității pot fi obținute din standardul SR ISO 10005: 1996, *Managementul calității. Ghid pentru planurile calității*.

14.7.6. Utilizarea, supravegherea şi gestionarea mijloacelor de control

Conform standardului ISO 9001 punctul 4.11, referitor la echipamentele de control, măsurare şi încercare, fabricantul de produse trebuie să răspundă urmă-

toarelor cerinţe:

- să identifice măsurătorile care trebuie efectuate, precizia cerută şi să aleagă corespunzător echipamentele de control necesare;
- să identifice echipamentele şi dispozitivele de control care pot afecta calitatea produsului şi să le etaloneze/regleze la intervale de timp prescrise, în raport cu etaloane de referinţă;
- să stabilească, să documenteze şi să administreze procedurile de etalonare, incluzând detalii referitoare la tipul de echipament, identificarea acestuia, frecvenţa şi metoda de verificare, criteriile de acceptare şi acţiunile corective;
- să se asigure că aparatura de control, încercare şi măsurare funcţionează în parametrii corespunzători;
- să asigure identificarea aparaturii de control prin aplicarea unui marcaj adecvat, care să evidenţieze totodată stadiul etalonării;
- să păstreze înregistrările referitoare la etalonarea echipamentelor de inspecţie, măsurare şi încercare;
- să evalueze şi să documenteze validitatea rezultatelor inspecţiilor şi încercărilor anterioare atunci când echipamentele sunt găsite în afara limitelor stabilite la etalonare;
- să se asigure că există condiţiile de mediu adecvate pentru etalonările, inspecţiile, măsurătorile şi încercările care se efectuează;
- să se asigure că manipularea, conservarea şi depozitarea echipamentelor de inspecţie, măsurare şi încercare se efectuează astfel încât să fie menţinute exactitatea şi aptitudinea de utilizare;
- să protejeze mijloacele de inspecţie, măsurare şi încercare, inclusiv hardware-ul şi software-ul pentru încercare, împotriva ajustărilor care ar putea invalida reglajele de etalonare.

14.8. TENDINŢE ŞI PERSPECTIVE ÎN CONTROLUL PRODUSELOR

14.8.1. Fiabilitatea previzională

Fiabilitatea este o componentă de bază a calităţii şi un important criteriu în proiectarea constructivă a produselor. Ea caracterizează comportarea produsului în timpul utilizării sale. Exemplificând, se spune că rezistenţa unui lanţ este dată de rezistenţa zalei celei mai slabe a acestuia.

În general, defectarea unui produs poate interveni ca urmare a unei *defectări catalectice* (scoaterea din uz brusc, subită: ruperea unei transmisii, arderea unei componente electronice) sau *progresive* (efectele fenomenului de uzare: creşterea jocurilor ajustajelor, creşterea rezistenţei electrice a componentelor electronice).

Caracteristicile de fiabilitate cele mai utilizate sunt:
- rata defectării λ
- media timpului de bună funcționare MTBF.

Rata defectării λ se exprimă prin raportul dintre numărul de defectări ale unei componente şi durata de funcționare continuă (sau numărul de utilizări). Rata defectării variază în timp, în raport cu ciclul de viață al produsului respectiv (fig. 14.16).

Media timpului de bună funcționare MTBF se exprimă prin intervalul mediu de timp scurs între două defecțiuni consecutive ale aceluiaşi produs. În anumite condiții, atunci când se face înlocuirea componentelor defecte, între cele două caracteristici de fiabilitate există relația:

$$MTBF = 1/\lambda \quad . \tag{14.1}$$

Determinarea fiabilității se poate face pe baza datelor de funcționare a produsului – *fiabilitate operațională*, care are în vedere: numărul de produse returnate în garanție, numărul intervențiilor de service, tipul şi frecvența defectelor apărute.

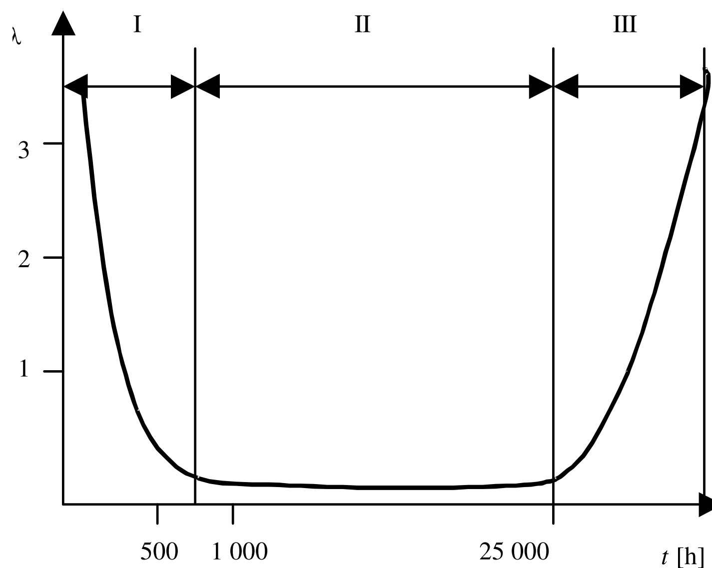


Fig. 14.18. Rata defectării pe durata ciclului de viață al produsului:
I – perioada de rodaj; II – perioada de funcționare; III – perioada de scoatere din uz.

Determinarea fiabilității prin testarea produsului în laborator – *fiabilitate experimentală*, se face în scopul verificării nivelului *fiabilității previzionale* (calculate în faza de proiectare).

Principii ale proiectării fiabile:

- simplitatea constructivă;
- utilizarea componentelor sigure, deja verificate şi validate;
- considerarea eforturilor şi a rezistenţei materialului – în special la oboseală şi degradare în timp, abordarea probabilistă;
- redundanţa;
- monitorizarea factorilor de mediu (şocuri şi vibraţii, temperatură, coroziune);
- identificarea şi eliminarea modurilor de defectare critice (FMECA);
- utilizarea componentelor cu autodepanare (senzori şi dispozitive de comutaţie);
- utilizarea elementelor de scanare, monitorizare şi depanare (inclusiv software);
- utilizarea întreţinerii planificate preventive;
- evaluarea toleranţelor şi a lanţului de dimensiuni (execuţie, mediu de funcţionare, solicitări, îmbătrânire);
- aspecte ergonomice (ergonomie, interfaţa om-maşină, rolul persoanei în sistem, *fiabilitatea umană*).

14.8.2. Evaluarea rapidă

Spre deosebire de testele efectuate pentru verificarea conformităţii produselor cu specificaţiile, *accelerated testing*, testarea urmăreşte identificarea *defectelor latente*, care pot cauza defecţiuni şi afecta fiabilitatea produsului.

Testarea se face la regimuri mai dure decât cele normale de utilizare, simulându-se efectul de îmbătrânire a materialului şi stimulând posibilele cauze de defectare, astfel încât acestea să genereze efecte sesizabile.

Accelerated testing se utilizează în faza de proiectare/dezvoltare pentru simularea comportării în funcţionare a produsului, identificării precoce a defectelor latente şi eliminării acestora prin optimizarea proiectului.

Testarea intensivă este o *strategie de evaluare rapidă* a produsului în faza de prototip, pentru identificarea punctelor slabe, care foloseşte metode din gama încercărilor distructive pentru solicitarea produsului, precum şi metode distructive şi nedistructive pentru analiza rezultatelor şi culegerea datelor.

Evaluarea rapidă este menită să reducă la minimum timpul de testare a prototipului – eficienţă şi productivitate maximă a încercărilor – şi să ofere date pentru îmbunătăţirea proiectului într-o cursă tot mai strânsă de răspuns pe piaţă.

Evaluarea avariilor trebuie să ia în considerare atât cedarea produsului testat, cât şi comportarea sistemului utilizat pentru testare, precum şi efectele speciale induse de suprasolicitare.

Schema procesului de evaluare rapidă se prezintă în figura 14.19.

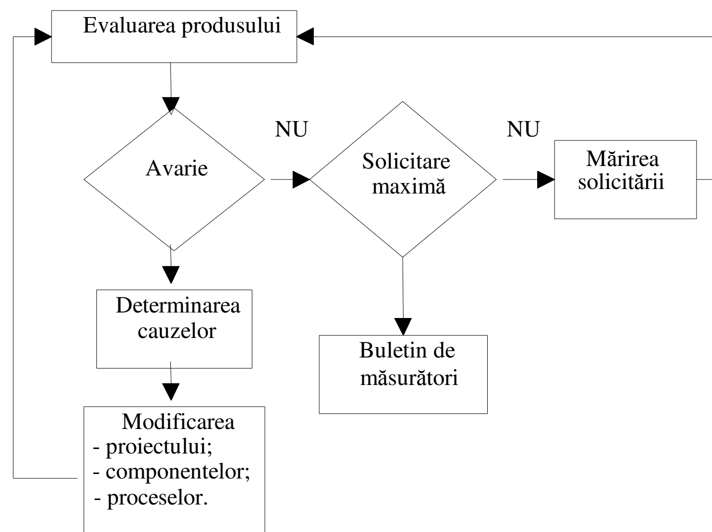


Fig. 14.19. Schema procesului de evaluare rapidă.



TEHNOLOGII ECOLOGICE

15.1. DEZVOLTAREA DURABILĂ

Trăim într-o epocă de conştientizare a importanţei respectării mediului înconjurător, în care:

- au fost constatate unele modificări (nu se ştie deocamdată cât sunt de ireversibile) climatice globale,
- rezervele de materii prime şi energie sunt epuizabile;
- biodiversitatea este ameninţată, deja unele specii de plante şi animale au dispărut;
- tot mai adesea – din considerente de eficienţă economică imediată – se lucrează „la limita tehnologiei”, fapt ce induce riscuri crescute de accidente, cu efecte catastrofale asupra habitatului;
- deşeurile industriale constituie încă o problemă;
- există mari decalaje tehnologice între statele bogate şi cele sărace.

Toate aceste probleme demonstrează că sistemul economic este în conflict cu sistemul natural al planetei, putând conduce la declin economic, iar pe termen lung la afectarea civilizaţiei. Creşterea economică conduce inevitabil la erodarea bazei pe care este construit sistemul economic. Se cunosc exemple din istorie de civilizaţii dispărute (cea sumeriană, civilizaţia maya) datorită degradării condiţiilor de mediu în care s-au dezvoltat.

Progresul tehnologic rapid conduce la accelerarea istoriei, depăşind capacitatea instituţiilor societăţii de a face faţă situaţiilor. Creşterea fără precedent a populaţiei şi a dezvoltării economice conduc la conflicte tot mai accentuate între

economia aflată în expansiune şi limitele naturale ale planetei. Soluția nu este dacă cunoaştem ceea ce este de făcut sau dacă avem tehnologiile prin care să facem, ci dacă instituțiile societății sunt capabile să implementeze schimbarea la timp.

Răspunsul la toate aceste probleme este conceptul de *dezvoltare durabilă* – dreptul generațiilor viitoare la condiții de dezvoltare cel puțin la fel de bune ca ale generației noastre, drept asigurat prin obligația generației noastre de a păstra şi de a reface, după caz, aceste condiții de mediu.

Agenda 21 a fost primul plan global de acțiune pentru dezvoltare durabilă care a integrat preocupările de mediu, cele economice şi cele sociale într-un cadru politic unic. Documentul, adoptat la conferința la vârf a Națiunilor Unite de la Rio de Janeiro în 1992, conține peste 2 500 recomandări şi propuneri privind unele modele de reducere a risipei şi consumurilor, de combatere a sărăciei, protejare a atmosferei, a oceanelor şi a biodiversității, precum şi de promovare a agriculturii durabile.

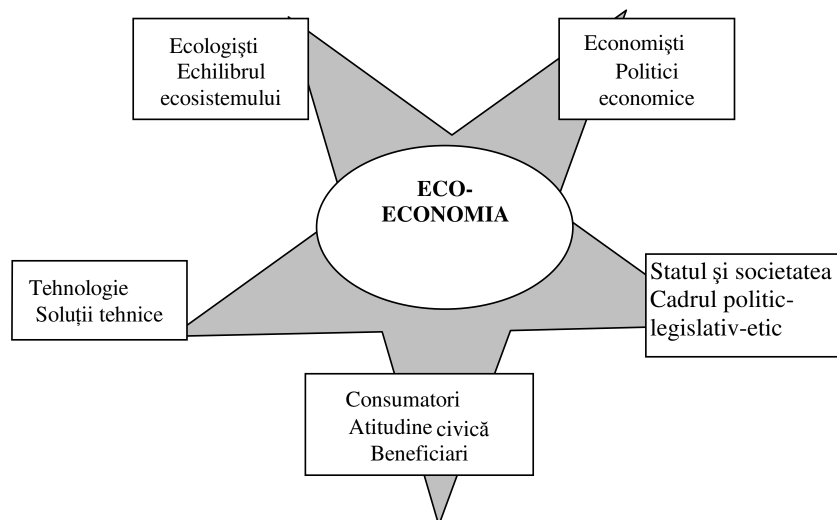


Fig. 15.1. Partenerii sistemului eco-economic.

Propunerile cuprinse în *Agenda 21* rămân în continuare actuale. Ele au fost completate şi îmbunătățite pe parcursul timpului la diverse reuniuni importante ale ONU privind populația, dezvoltarea socială, rolul femeii, dezvoltarea urbană, securitatea alimentară.

O nouă reuniune la vârf a ONU asupra problematicii dezvoltării durabile urmează să aibă loc în septembrie 2002 la Johannesburg, Republica Sud Africană. De la această conferință se aşteaptă o nouă angajare a guvernelor lumii în parteneriatul global, menit să implementeze recomandările *Agendei 21* şi să pună astfel bazele unui *viitor durabil* al omenirii.

O nouă economie, o *eco-economie*, reclamă ca principiile ecologice să determine cadrul în care se formulează politicile economice, acceptând ideea că economia este o *componentă a ecosistemului* terestru. Figura 15.1 prezintă rolurile principalilor parteneri în implementarea şi gestionarea noii economii.

Specialiştii în ecologie înţeleg cel mai bine că toate activităţile, inclusiv cele economice, depind de ecosistemul planetei, un complex de fiinţe care trăiesc împreună, interacţionând unele cu altele şi cu mediul de viaţă. Toate speciile trăiesc într-un echilibru fragil, la baza căruia stau procese interactive, precum: lanţul trofic, ciclul alimentar, ciclul hidrologic, sistemul climatic.

Economiştii ştiu cum să transpună obiectivele în politici, ei se ghidează după legile impuse de piaţă, nu percep întotdeauna limitele ecosistemului şi amploarea conflictului declanşat de creşterea economică. Piaţa este adesea înşelătoare, atâta vreme cât preţurile ei nu includ şi cheltuielile induse de mediu.

Tehnologii au sarcini deosebit de importante, ei fiind în prima linie a rezolvării problemelor, tehnologia fiind, pe de o parte, cauza problemelor, dar, pe de altă parte, tot ea are capacitatea de a oferi soluţiile de rezolvare a problemelor de mediu. Nu întâmplător, se constată în ultimii ani că orientarea către problemele de mediu apare tocmai în domeniile care au cel mai mare impact asupra mediului: chimie, metalurgie, energetică, industria extractivă, transporturi, materiale de construcţii.

Se cunosc deja restructurările care sunt necesare:

- renunţarea la modelul economic bazat pe combustibili fosili, automobil şi societate de consum;
- utilizarea resurselor energetice regenerabile, de tip energie solară şi hidrogen;
- generalizarea transportului urban bazat pe vehicule pe şine şi biciclete;
- crearea unei economii bazate pe reutilizare şi reciclare.

Statul şi societatea creează cadrul politic legislativ, repectiv formativ etic, în care sunt lăsaţi să acţioneze agenţii economici şi populaţia. Impunerea unor norme stricte pentru condiţiile de mediu, preferabil armonizate la nivel regional şi internaţional, sunt deosebit de importante în limitarea cauzelor de poluare. Foarte importantă este verificarea îndeplinirii standardelor de mediu şi sancţionarea tuturor acelora care încalcă normele în vigoare, ştiut fiind că nu se poate conduce fără a se controla, fără a exista un feed-back.

Consumatorii, utilizatorii şi beneficiarii produselor şi serviciilor pot impune, corespunzător unui anumit nivel de conştiinţă şi în raport cu o scară de valori, o anumită atitudine de promovare a proceselor şi produselor ecologice pe piaţă. În acest caz, trebuie avute în vedere întotdeauna şi anumite limite de tip accesibilitate şi oportunitate, legate de puterea economică a consumatorilor, raportul calitate/preţ fiind un criteriu eliminatoriu care poate impune un produs ieftin în detrimentul altuia ecologic, dar inaccesibil ca preţ.

În majoritatea cazurilor, preţul produselor include doar cheltuielile legate

de fabricare şi desfacere, la care se adaugă profitul şi taxele. Costurile de mediu nu sunt incluse în preţ; ele sunt *externalizate* în raport cu fabricantul, fiind suportate fie de către client, în utilizarea sau scoaterea din funcţiune a produsului, fie de către societatea în ansamblu, cheltuielile de prevenire şi combatere a poluării, de tratare a deşeurilor. Din această cauză, clientul nu are viziunea globală asupra produsului respectiv, neştiind ce să aleagă, iar producătorul nu este stimulat să realizeze produse ecologice. În unele state dezvoltate s-au introdus taxe de mediu, care se regăsesc în preţul de vânzare al produsului. Taxele iau în considerare impactul pe care produsul îl are, pe întreaga durată de viaţă, asupra mediului (randamentul de funcţionare, deşeurile pe care le generează, fiabilitatea, problemele pe care le pune casarea şi reciclarea etc.). Taxele se pot adresa atât produsului, cât şi ambalajului; este important ca taxele de mediu să fie diferenţiate de la un produs la altul şi nu egale pentru toate produsele, astfel încât să se realizeze şi o informare reală a clienţilor asupra impactului de mediu. Un client astfel informat va putea alege în cunoştinţă de cauză produsul pe care doreşte să îl achiziţioneze. Prin introducerea taxelor de mediu se produce *internalizarea costurilor* pentru producător.

Abordarea Worldwatch Institute (www.worldwatch.org) vede securitatea ecologică drept o componentă importantă a securităţii naţionale. Acest fapt implică o redistribuire a alocaţiilor bugetare între apărare şi protecţia mediului.

Dezvoltarea durabilă impune echilibrul pe termen lung al societăţii umane. Strategiile pentru implementarea dezvoltării durabile cuprind: stabilizarea creşterii demografice, creşterea eficienţei energetice, dezvoltarea resurselor de energie regenerabilă, conservarea rezervelor naturale, protejarea pământului şi a sistemelor biologice, reciclarea materialelor.

Tabelul 15.1. *Strategii de implementare a dezvoltării durabile*

Strategia	Semnificaţia actuală	Potenţialul de dezvoltare
Reciclarea	Materiale şi produse reciclabile	Integrarea reciclării la nivelul fiecărei etape a proceselor tehnologice, acoperind fiecare produs şi toate tipurile de deşeuri
Determinarea eficienţei	Definită drept consum material pe unitate de produs/serviciu, măsurată la ieşirea din fabrică	Definită drept consum material pe utilitate, măsurată pe întregul ciclu de viaţă al produsului
Materiale de înlocuire	Materiale de sinteză, realizate din resurse neregenerabile	Materiale sintetizate din resurse regenerabile, cu grad redus de toxicitate
Dezvoltarea serviciilor	Limitată la domenii în afara agriculturii şi industriilor extractive şi prelucrătoare	Regândirea tuturor firmelor din toate domeniile ca potenţiale furnizoare de servicii în scopul reducerii consumurilor materiale
Saturaţia pieţei	Ignorată	Evaluarea nevoilor consumatorilor şi determinarea unor criterii de reducere a cererii de consum

Creşterea economică în condiţii de dezvoltare durabilă nu înseamnă creşterea consumurilor de materiale şi energie. Ea înseamnă utilizare raţională,

reducerea pierderilor, reducerea deşeurilor. Tot mai mult economia mondială trebuie să se asemene unui lac, unui ecosistem închis, autonom, care îşi foloseşte propriile resurse, inclusiv deşeurile şi nu unui fluviu, care curge într-o direcţie, de la exploatarea resuselor naturale spre poluarea mediului. Potrivit Academiei Naționale de Ştiințe din SUA, peste 94% din materialele extrase anual ajung deşeuri în decurs de numai câteva luni.

Tabelul 15.1 trece în revistă diverse strategii care pot fi utilizate pentru implementarea dezvoltării durabile într-o economie bazată pe consumul de materiale.

15.2. EFICIENȚA UTILIZĂRII MATERIALELOR

Progresul tehnologic duce la reducerea gabaritului şi masei produselor în condițiile creşterii performanțelor acestora (o privire generală este prezentată în tabelul 15.2). Se observă că nu întotdeauna reducerea masei produselor aduce pe global o economie de materiale, după cum nici înlocuirea unor materiale nu are ca efect reducerea poluării mediului.

Reducerea cantităților de materiale utilizate la fabricarea produselor poate ajunge până la 90% în următorii 50 de ani în statele dezvoltate ale lumii. În acelaşi timp, cererea de materiale creşte însă în țările în curs de dezvoltare datorită, pe de o parte, tehnologiilor învechite, iar, pe de altă parte, nevoilor în creştere ale populației pentru satisfacerea unui standard de viață tot mai ridicat.

Tabelul 15.2. *Exemple de efecte induse de înlocuirea materialelor*

Produsul	Eficiența	Dificultăți
Piese auto din mase plastice	Utilizarea lor a crescut cu 26% între 1980-1994 Reducerea masei autovehiculului cu 6%	Reciclare anevoioasă a peste 25 mase plastice diferite
Ambalaje metalice	Reducerea masei proprii cu 30% în ultimii 20 de ani	Ambalaje de unică folosiță, utilizate în cantități de masă
Acumulatori cu Pb	Reducerea masei proprii cu 30% în ultimii 20 de ani	Extinderea utilizării acumulatorilor la diferite bunuri electrocasnice şi scule de mână
Anvelope	Anvelopele radiale sunt cu 25% mai uşoare şi cu 100% mai durabile	Reciclare anevoioasă datorită inserției metalice
Telefoane mobile	Reducerea masei proprii de 10 ori între 1991-1996	Creşterea abonaților de circa 8 ori, noile aparate vândute s-au adăugat celor existente fără să le înlocuiască.

Din punct de vedere al protecției mediului este importantă reducerea cantitățiilor de materiale exploatate, prelucrate şi vehiculate anual. Acest lucru se

poate face fie prin îmbunătățirea concepției şi a proiectării produsului (reduceri limitate, dependente de progresul tehnologiilor), fie prin regândirea întregii structuri industriale (reduceri însemnate). O structură industrială axată pe servicii utilizează cu mult mai puține resurse naturale decât una bazată pe producție. Într-o economie bazată pe servicii, firmele fac profit nu vânzând bunuri (ca de exemplu, maşini de spălat sau automobile), ci furnizând serviciile care ar fi produse cu aceste bunuri (curățarea rufelor, respectiv transportul) sau servicii legate de exploatarea bunurilor respective (furnizarea consumabilelor, întreținere, service, preluarea bunurilor defecte, înlocuirea bunurilor uzate fizic sau moral etc.). Studii recente arată că înlocuirea maşinilor de spălat casnice cu servicii de spălare şi curățare a rufelor în regim industrial poate conduce la economisirea resurselor între 10 şi 80 de ori, datorită economiei de apă şi detergenți, respectiv prin reducerea volumului produselor existente pe piață şi a celor care trebuie casate.

Multe firme şi-au modificat domeniul de activitate din producția şi desfacerea de bunuri în producția şi închirierea aceloraşi bunuri (*leasing*). Această tendință a determinat implicarea mai mare a producătorilor în exploatarea produselor proprii, conducând atât la creşterea durabilității şi a fiabilității, cât şi la reciclarea pe scară largă a produselor, cu efecte benefice asupra mediului.

Simbioza industrială este un concept promovat de firme daneze, potrivit căruia deşeurile rezultate dintr-o firmă devin intrări pentru firma următoare, şi aşa mai departe, firmele fiind complementare, impactul asupra mediului fiind diminuat.

Eficiența utilizării materialelor trebuie analizată ținând seama de întregul ciclu de viață al produsului, luându-se în calcul şi caracteristici, precum durabilitatea şi reciclabilitatea. De exemplu, dublarea duratei de viață a unui autoturism nu înseamnă o creştere a eficienței utilizării materialelor pentru fabrica producătoare, dar are impact asupra resurselor înglobate în el şi asupra deşeurilor pe care acesta le generează prin funcționare. Sub aceste aspecte, eficiența utilizării resurselor se va dubla, respectiv cantitatea de deşeuri se va reduce la jumătate.

Înlocuirea bateriilor Ni-Cd cu baterii Ni-Me a condus la reducerea, pe de o parte, a deşeurilor toxice de Cd, iar, pe de altă parte, la mărirea duratei de viață a bateriilor, fapt ce a condus, de asemenea, la reducerea cantității de Ni utilizate pentru fabricarea bateriilor, respectiv la reducerea deşeurilor de Ni provenite din baterii uzate.

Eficiența utilizării materialelor creşte prin repararea, reciclarea şi reutilizarea produselor.

Diverse servicii care oferă închirierea de bunuri constituie soluții actuale de utilizare eficientă a materialelor, având ca efect limitarea producției excesive de bunuri dintr-o anumită categorie. Sunt vizate îndeosebi acele domenii în care are loc o înnoire rapidă a tehnologiilor, unde clienții sunt interesați să folosească produse de ultimă generație, dar pe care nu au posibilitatea să le achiziționeze. Unele dintre acestea sunt detaliate mai jos.

Car-sharing – utilizarea unui autoturism de către mai mulți beneficiari prin

împărțirea costurilor – este o soluție aplicată în multe state dezvoltate la problema aglomerației, a întârzierilor în trafic şi a poluării mediului.

Tools libraries – centre pentru închiriat scule de mână – este o soluție promovată în Statele Unite, adresată celor care efectuează diverse lucrări ocazional pentru a-i scuti de eforturi financiare mari şi pentru a se limita producția excesivă.

Atractivitatea pentru utilizarea materialelor la prima prelucrare se datorează existenței unor subvenții guvernamentale şi nu unei rentabilități efective. Regândirea subvențiilor, punerea accentului nu pe exploatarea resurselor naturale, ci pe protecția mediului şi tratarea deşeurilor conduce la implementarea dezvoltării durabile. Se pot acorda facilități, de exemplu, pentru: procentajul în materiale reciclate din structura produselor, reciclarea hârtiei, refolosirea ambalajelor, prelucrarea deşeurilor menajere.

15.3. MARCAJUL ECOLOGIC

Marcarea ecologică a produselor (*ecolabelling*) este destinată informării corecte a consumatorilor, pentru ca aceştia să poată alege în cunoştință de cauză şi să îşi impună astfel o anumită atitudine civică față de problemele de mediu. Se pot marca atât produse, cât şi procese sau servicii.

Marca de mediu se înregistrează ca oricare altă marcă comercială, fiind protejată. Proprietarul mărcii de mediu este Ministerul Mediului.

Marcajul ecologic este un instrument de marketing, destinat să convingă consumatorul că un produs, proces sau serviciu are, pe lângă caracteristicile obişnuite funcționale şi prețul de vânzare, şi un impact bine determinat asupra sănătății şi mediului. Marcajul ecologic contribuie la crearea imaginii de piață a unei firme, a unui proces, produs sau serviciu. Obligativitatea marcajului ecologic oferă o imagine clară asupra politicii unui guvern în domeniul mediului şi sănătății populației.

Marcajul ecologic este folosit în multe sectoare economice pentru identificarea:

- eficienței energetice a aparatelor electrocasnice (clase de consum A-E);
- lemnului provenind din păduri administrate ecologic;
- peştelui din crescătorii ecologice;
- alimentelor provenind din ferme administrate ecologic;
- energiei produse din resurse regenerabile.

La stabilirea marcajului ecologic trebuie avute în vedere următoarele etape:

- selecția categoriilor de produse care urmează a fi marcate;
- evaluarea impactului de mediu al produselor din perspectiva ciclului lor de viață;
- stabilirea unor criterii ecologice necesare evaluării performanțelor produsului;

- îmbunătățirea continuă a întregului proces de marcare.

Obiectivul marcării este limitarea semnificativă a efectelor produselor asupra mediului.

Analiza ciclului de viață a produsului se face determinând impactul asupra mediului, sănătății şi societății pentru fiecare etapă din existența produsului, pornind de la extracția materiilor prime, la prelucrarea acestora, la sursele de energie folosite, la funcționarea şi exploatarea produsului, la repararea şi întreținerea acestuia şi terminând cu casarea şi reciclarea, recuperarea, reutilizarea materialelor şi energiei înglobate în produs.

Analiza ciclului de viață a produsului contribuie şi la selectarea categoriilor de produse supuse marcării, prin evidențierea acelor bunuri cu impact major asupra sănătății, mediului şi societății.

Un produs marcat ecologic este mai scump decât unul fără marcaj, pentru că aplicarea marcajului semnifică şi internalizarea cheltuielilor de mediu la producător.

Reducerea impactului defavorabil asupra puterii de cumpărare a consumatorilor impus de marcajul ecologic se poate face printr-o redistribuire a taxelor fiscale. Sistemul fiscal trebuie să ia în considerare internalizarea costurilor de mediu la producător, care are drept consecință reducerea corespunzătoare a costurilor de mediu ale statului. Se impune deci o reducere a impozitelor pe veniturile contribuabililor, care să corespundă efectului internalizării costurilor de mediu şi să compenseze reducerea puterii de cumpărare aferentă marcării ecologice. Această regândire a sistemului fiscal este un instrument de implementare a politicii guvernamentale în domeniul mediului.

Marcajul de mediu este un instrument de educare şi orientare a atitudinii consumatorului, prin care poate acționa consumatorul, şi care completează celelalte mijloace economice de implementare a politicii de mediu, prin care acționează statul: subvenții, taxe, impozite, penalizări.

15.4. TEHNOLOGII ECOLOGICE

Tehnologiile ecologice trebuie să ofere soluții pentru implementarea dezvoltării durabile, răspunzând principalelor probleme şi anume:

- limitarea cantității de materiale folosite în economie prin recircularea continuă a acestora;
- eliminarea deşeurilor din procesele industriale;
- conservarea energiei;
- înlocuirea materialelor toxice şi a celor greu reciclabile;
- conservarea factorilor de mediu;
- conservarea biodiversității.

Orice tehnologie trebuie să fie evaluată din punct de vedere al impactului

său asupra mediului, determinându-se clar care sunt riscurile de mediu.

Alegerea uneia sau alteia dintre tehnologii implică o analiză multicriterială, ponderea diverselor criterii având o dinamică evolutivă. Tehnologia cuprinde un ansamblu de procese tehnologice împreună cu utilajele, instalaţiile şi spaţiile aferente desfăşurării proceselor. Caracteristicile unei tehnologii sunt:

- condiţiile specifice proceselor tehnologice componente;
- caracteristicile tehnice ale instalaţiilor şi utilajelor aferente;
- forma de energie necesară;
- natura materiilor prime;
- eficienţa de transformare a proceselor;
- accesibilitatea tehnică şi financiară;
- cerinţele de forţă de muncă;
- impactul asupra mediului.

Tehnologiile orientate sunt acele tehnologii care determină reducerea consumului de energie primară şi a impactului asupra mediului, în condiţiile menţinerii unui nivel ridicat de calitate şi de productivitate. Tehnologiile orientate sunt alternative la cele tradiţionale, fiind de preferat pentru reabilitarea şi modernizarea unor obiective industriale existente. Majoritatea tehnologiilor orientate sunt aşa numitele *tehnologii electrice* – care folosesc ca sursă de energie electricitatea în locul combustibililor solizi, gazoşi sau lichizi (tabelul 15.3).

Tabelul 15.3. *Exemple de aplicare a tehnologiilor electrice*

Domeniul	**Tehnologia**		**Procesul tehnologic**
	tradiţională	**electrică**	
Industrie	Arzătoare cu gaze	Arc electric	Ardere
	Cuptoare cu gaze	Încălzire cu inducţie sau rezistivă	Tratamente termice
	Abur	Încălzire cu rezistoare	Modelarea cauciucului, vulcanizare
	Cuptoare cu gaze	Cuptoare cu microunde	Uscare (biscuiţi, pudre, hârtie, bumbac, lână)
	Abur	Cuptoare cu microunde	Uscare (paste făinoase, patiserie)
	Încălzire cu gaze	Cuptoare cu infraroşii	Uscare vopsitorii
	Încălzire cu gaze	Pompe de căldură	Industria alimentară, uscarea lemnului, textilelor, pieilor
	Turbocompresoare	Compresie mecanică	Distilarea alcoolului, zahărului, fabricarea conservelor, hârtiei
	Celule cu Hg	Membrane de înlocuire	Electroliza NaCl
	Aer fierbinte	Cuţit de aer	Curăţirea pieselor metalice, uscarea textilelor
Agricultură	Termoficare	Pompe de căldură	Încălzire sere, grajduri
	Uscătoare cu combustibili	Pompe de căldură	Uscare furaje, porumb, orez
	Termoficare	Compresie mecanică	Uscare plante medicinale, uscare reziduuri sfeclă
	Evaporatoare	Membrane	Sucuri concentrate
	Încălzire radiantă	Instalaţii cu infraroşii	Încălzirea incubatoarelor

Tabelul 15.3. (*continuare*)

Servicii, uz casnic	Încălzire cu gaze sau abur	Pompe de căldură	Încălzire apă caldă menajeră,
	Maşini de gătit cu gaze	Cuptoare cu microunde	Încălzirea semipreparatelor în restaurante

Tehnologiile electrice prezintă următoarele avantaje faţă de tehnologiile tradiţionale:

- randamente ridicate ale proceselor de transformare;
- pierderi reduse la transportul şi distribuţia energiei;
- reducerea costurilor de mediu;
- reducerea forţei de muncă prin automatizarea proceselor;
- reducerea consumului de materii prime şi materiale;
- cheltuieli reduse de exploatare;
- îmbunătăţirea condiţiilor de muncă.

Eficienţa energetică a înlocuirii unei tehnologii tradiţionale cu una orientată se poate calcula cu formula coeficientului de substituţie *c*:

$$c = \frac{W_{qi} - W_{qs}}{W_{es} - W_{ei}} \quad , \tag{15.1}$$

unde: W_{qi} este energia furnizată de combustibilul necesar în tehnologia tradiţională în MJ; W_{qs} - energia furnizată de combustibilul necesar în tehnologia orientată în MJ; W_{es} - energia electrică necesară în tehnologia orientată în kWh; W_{ei} - energia electrică necesară în tehnologia tradiţională în kWh.

Se consideră că înlocuirea tehnologiei este eficientă din punct de vedere energetic pentru valori ale coeficientului de substituţie mai mari de 10,5.

Cleaner production – producţia curată – constă în aplicarea continuă asupra proceselor, produselor, serviciilor a unei strategii preventive integrate de mediu cu scopul de a creşte eficienţa globală şi de a reduce riscurile pentru oameni şi mediu.

Pentru procese, *producţia curată* constă în conservarea materiilor prime, a apei şi energiei, eliminarea materiilor prime toxice şi a celor periculoase, precum şi în reducerea dozelor şi toxicităţii emisiilor şi deşeurilor la sursă, în timpul desfăşurării proceselor.

Pentru produse, *producţia curată* constă în reducerea impactului asupra mediului, sănătăţii şi securităţii produselor pe întregul lor ciclu de viaţă, de la extragerea materiilor prime, fabricaţie şi utilizare şi până la casarea şi reciclarea produselor.

Pentru servicii, *producţia curată* constă în includerea cerinţelor de mediu în conceperea şi furnizarea serviciului.

Producţia curată este un concept introdus de Programul Naţiunilor Unite pentru Mediu (UNEP) în anul 1989, ca o nouă abordare a conservării resurselor şi

managementului de mediu. Obiectivul urmărit este promovarea conceptului ca o strategie de dezvoltare a firmelor menită să îmbunătăţească performanţele economice simultan cu protecţia mediului. Prin implementarea conceptului se are în vedere reducerea cheltuielilor firmei legate de deşeuri, noxe, impact asupra sănătăţii şi a mediului, precum şi crearea de noi pieţe de desfacere. *Producţia curată* oferă avantaje multiple, pentru mediu, consumator şi salariat, îmbunătăţind eficienţa, profitabilitatea şi competitivitatea.

Producţia curată este o mentalitate care arată cum bunurile şi serviciile pot fi produse cu minimum de impact asupra mediului, în limitele tehnologice şi economice actuale.

Deosebirea dintre *controlul poluării* şi *producţia curată* constă în momentul aplicării. *Controlul poluării* se face după eveniment, tratându-se efectele, în timp ce *producţia curată* se aplică preventiv, limitându-se cauza.

Adoptarea conceptului de *producţie curată* s-a făcut sub forma unei declaraţii internaţionale, cu rol de recomandare ONU. Declaraţia recomandă promovarea următoarelor principii de aplicare a conceptului:

- implicarea conducerii;
- conştientizarea, educarea, instruirea;
- integrarea;
- cercetarea ştinţifică şi dezvoltarea tehnologică;
- comunicarea;
- implementarea.

Nivelele de angajare în implementarea declaraţiei sunt: guvernamental (naţional), firme (producători şi furnizori), organizaţii de sprijin (societatea civilă, universităţi, consumatori).

Principiul implicării conducerii ţine seama că fiecare organizaţie are o arie proprie de influenţă. Firmele pot influenţa consumatorii, comunităţile locale, furnizorii şi competitorii. Asumarea declaraţiei implică atragerea şi convingerea acţionarilor să adopte practici durabile de producţie şi de consum. Producţia durabilă include ca principale strategii de sprijin a producţiei curate: eco-eficienţa, eco-productivitatea, prevenirea poluării.

Principiul conştientizării, educării, instruirii ţine seama că în fiecare organizaţie există un potenţial uriaş, atât la nivel managerial, cât şi al angajaţilor pentru crearea de idei şi mijloace noi de îmbunătăţire a performanţelor de mediu, care trebuie puse în valoare. Realizarea de programe de conştientizare la nivelul firmei atrage atenţia acţionarilor asupra importanţei problemelor de mediu. Educarea oferă mijloacele de gândire şi de acţiune. Instruirea este menită să transpună în practică ideile şi soluţiile. Scopul acţiunilor este de a integra producţia curată în toate activităţile legate de dezvoltarea resurselor umane. Includerea conceptelor referitoare la strategii de prevenire în educaţia viitoarei forţe de muncă este soluţia pentru a schimba atitudini, comportamente, mentalităţi şi de a crea un mediu fertil de acţiune. Colaborarea firmelor cu elevii, studenţii şi cadrele didactice

din universități în vederea elaborării unui plan curricular bazat pe cerințele curente oferă un sprijin prețios pentru calificarea noii generații de salariați.

Principiul integrării ține seama că eficiența implementării unei noi strategii în fiecare organizație şi se bazează pe implementarea concurențială de sus în jos la nivelul fiecărui compartiment funcțional. Scopul acestei acțiuni este de a integra conceptul de producție curată în fiecare compartiment şi activitate din organizație, astfel încât să devină o parte integrantă a activităților zilnice. Un sistem de management de mediu este un instrument curent în industrie şi administrație. Implementarea unui sistem de management de mediu facilitează punerea în practică a conceptului de producție curată, oferindu-i acestuia o infrastructură coerentă. Complementar, au fost dezvoltate şi pot fi utilizate şi alte instrumente pentru identificarea oportunităților şi a perspectivelor activităților zilnice, a noilor considerații şi a potențialului de identificare a noilor măsuri preventive.

Principiul cercetării ştiințifice şi dezvoltării tehnologice ține seama că strategiile tradiționale sunt epuizate ca soluții la problemele actuale, când accentul se pune pe strategii de prevenire. Transformarea strategiilor trebuie începută la nivelul cercetării ştiințifice şi dezvoltării tehnologice, inclusiv de dezvoltare a politicilor de afaceri şi guvernamentale. Obiectivul acestui principiu este de a *realiza mult cu resurse minime*. Accentul se pune pe dezvoltarea mondială a produsului, ținând seama că toți consumatorii sunt interesați de originea produselor achiziționate. Economia ciclului de viață a produsului (*life-cycle economy*) cuprinde strategiile de dezvoltare durabilă a produselor, cum ar fi evaluarea ciclului de viață şi proiectarea ecologică (*design for environment*). Politicile guvernamentale impun tot mai mult industriei să îşi asume o responsabilitate crescută pentru produsele furnizate pe întregul lor ciclu de viață.

Principiul comunicării ține seama de faptul că dialogul şi comunicarea, în general, este calea cea mai bună de promovare a unui produs, serviciu şi chiar a unei strategii de prevenire, cum este producția curată. Intensificarea dialogului cu acționarii poate fi recompensată multilateral: creşte motivația internă a firmei, îmbunătățeşte imaginea publică a firmei, creşte încrederea acționarilor şi îi influențează pozitiv.

Principiul implementării ține seama că perfecționarea oricărei practici necesită monitorizarea şi cuantificarea rezultatelor, astfel încât să existe indicații privind evoluția. *Producția curată* este o strategie care poate fi utilizată în cadrul sistemului de management de mediu în scopul îmbunătățirii continue a performanțelor sistemului. Investițiile în *producția curată* au fost riscante în trecut datorită duratelor mari de amortizare, lipsei unor principii contabile pentru determinarea beneficiilor asupra mediului, lipsei unor cerințe cadru pentru politicile guvernamentale şi ale firmei. Trebuie identificate tehnologii, politici şi metode de măsurare corespunzătoare, care să facă atractive invesitițiile în *producția curată*. Parteneriatul cu alți semnatari ai declarației şi cu biroul UNEP

poate lămuri utilitatea, creşte eficienţa, îmbunătăţeşte implementarea principiilor declaraţiei şi asigură feed-backul pentru UNEP.

Eco-eficienţa a fost definită de World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) în 1992 drept: „furnizarea de bunuri şi servicii competitive ca preţ, care satisfac cerinţele clienţilor şi aduc calitate vieţii, reducându-se progresiv impactul ecologic şi consumul de resurse pe întreg ciclul de viaţă, la un nivel cel puţin corespunzător capacităţii estimate a planetei”.

Diferenţa faţă de *producţia curată* constă în modalitatea de abordare a aceleiaşi probleme. *Eco-eficienţa* porneşte de la procese eficiente economic, cu impact pozitiv asupra mediului, în timp ce *producţia curată* porneşte de la procese eficiente ecologic, care aduc beneficii economice.

Prevenirea poluării are practic aceeaşi semnificaţie cu *producţia curată*, diferenţa dintre ele fiind de aria geografică de circulaţie a termenilor: primul termen este definit de US Environment Protection Agency (EPA) în 1980 drept: „prevenirea sau reducerea deşeurilor la sursă, inclusiv practicile de conservare a resurselor naturale, prin reducerea poluanţilor datorită creşterii eficienţei de utilizare a materiilor prime, energiei, apei şi solului” şi are circulaţie în America de Nord, în timp ce, *producţia curată* este un termen cu circulaţie în restul globului.

Minimizarea deşeurilor (*waste minimization*) este un concept introdus de EPA în 1988: „reducerea la sursă a deşeurilor şi a risipei prin modificări ale intrărilor de materii prime, a tehnologiilor, a practicilor şi a concepţiei produselor”. Reciclarea prin reutilizare directă după reclamaţii este, de asemeni, considerată drept o tehnică de minimizare, dar are o prioritate mai mică decât prevenirea sau minimizarea deşeurilor.

Frecvent, *prevenirea poluării* şi *minimizarea deşeurilor* sunt termeni folosiţi complementar. *Prevenirea poluării* înseamnă în primul rând eliminarea deşeurilor prin reducerea lor la sursă; *minimizarea deşeurilor* este un termen mai larg, care include reciclarea şi alte metode de reducere a cantităţii de deşeuri care trebuie tratate/depozitate.

Eco-productivitatea (*green productivity*) este un termen folosit de Asian Productivity Organization (APO) pentru a defini contribuţia organizaţiei la *producţia durabilă*; un program omonim a fost lansat de APO în 1994. Ca şi *producţia curată*, *eco-productivitatea* este o strategie de intensificare a productivităţii şi a performanţelor de mediu pentru întreaga dezvoltare socio-economică.

Ecologie industrială/metabolism industrial sunt concepte pentru noul model al producţiei industriale, strâns legate de conceptul de *producţie curată*. *Ecologia industrială* şi *metabolismul industrial* studiază sistemele industriale şi activităţile economice, precum şi legăturile acestora cu sistemele naturii, în scopul de a imita modul de reciclare a materialelor utilizat de ecosisteme – managementul fluxului de materiale este o preocupare principală a acestor abordări.

Principalele elemente ale *ecologiei industriale* şi ale *metabolismului*

industrial sunt*:*

- crearea unui ecosistem industrial, maximizarea utilizării în producție a materialelor reciclate, optimizarea utilizării unor materiale care înglobează energie, minimizarea surselor de deşeuri, reevaluarea deşeurilor ca materii prime pentru alte procese;
- echilibrarea intrărilor şi ieşirilor din sistemele industriale în raport cu capacitatea ecosistemelor; înțelegerea capabilității sistemelor naturale de a interacționa cu deşeurile şi substanțele toxice în situații obişnuite şi în catastrofe;
- dematerializarea intrărilor în sistemele industriale; reducerea intensității materiale şi energetice a producției industriale;
- îmbunătățirea modelului metabolic al proceselor industriale şi a utilizării materialelor; reducerea sau simplificarea proceselor industriale după modelul celor naturale;
- modele sistemice pentru utilizarea energiei, promovarea dezvoltării unui sistem energetic care să funcționeze ca o parte a ecosistemului industrial şi care să nu genereze un impact negativ asupra mediului (cum au sistemele energetice clasice);
- alinierea politicilor la o perspectivă pe termen lung asupra evoluției sistemelor industriale (popoarele colaborează la integrarea politicilor economice şi a celor de mediu).

15.5. CONSUMUL DURABIL

În 1985, Adunarea Generală a ONU a adoptat *Liniile directoare privind protecția consumatorului,* Rezoluția 39/248, din 9.05.1985. Acest document a pus bazele, la scară planetară, a cadrului politic, stabilind ce pot să întreprindă guvernele pentru securitatea, apărarea intereselor economice, calitatea şi distribuția bunurilor şi serviciilor, educarea şi informarea consumatorilor, răspunderea privind produsul şi despăgubirea consumatorilor.

Documentul se adresează în special țărilor în curs de dezvoltare, pentru sprijinirea acestora în punerea bazelor şi perfecționarea politicilor, a legislației şi structurilor privind *protecția consumatorului*, după modelul şi bunele practici existente în statele dezvoltate.

Ulterior, o dată cu dezvoltarea problematicii protecției mediului, a apărut necesitatea promovării unui nou model de consum care să susțină *dezvoltarea durabilă*. *Agenda 21* a inclus un capitol dedicat schimbării modelului de consum, considerându-se că producția şi consumul sunt inexorabil legate, un termen al ecuației dezvoltării durabile fiind producția, iar celălalt consumul (figura 15.2).

Fără efortul concertat al guvernelor, mediului de afaceri şi societății civile de a impune un nou model de consum durabil, degradarea mediului înconjurător cauzată de modelul clasic de consum se va înrăutăți o dată cu trecerea timpului.

Modelul societății de consum, dezvoltată pe baza creşterii economice şi prosperității postbelice a jucat un rol central în fundamentul politic, economic şi psiho-social al societății occidentale, a constituit o bază pentru stabilitatea şi consensul politic. Acest model a constituit idealul de dezvoltare şi progres pentru țările în curs de dezvoltare decenii de-a rândul, fiind la baza mirajului occidental. Astăzi este recunoscut faptul că practicile societății de consum au condus la degradarea condițiilor de mediu şi că se impune, în consecință, schimbarea modelului de consum.

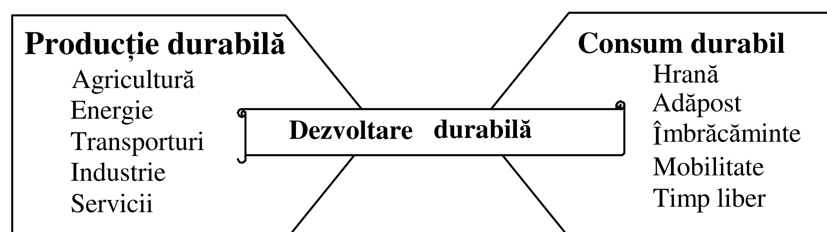


Fig. 15.2. Termenii ecuației dezvoltării durabile.

ONU a redactat în 1998, cu sprijinul comitetului economic şi social (ECOSOC) liniile directoare pentru implementarea noului model de consum durabil pentru consumatorul global. La baza acestui document au stat liniile directoare anterioare, elaborate în 1985, pentru protecția consumatorului, revizuite din perspectiva dezvoltării durabile şi a globalizării economiei mondiale.

Principalele obiective promovate de liniile directoare sunt:

- sprijinirea statelor pentru realizarea unei protecții adecvate a populației consumatoare;
- stimularea modelelor de producție şi distribuție care răspund cerințelor şi dorinței consumatorilor;
- încurajarea comportamentului etic față de consumatori al producătorilor, distribuitorilor şi furnizorilor de bunuri şi servicii;
- sprijinul statelor în limitarea comportamentelor abuzive în afaceri ale firmelor naționale sau internaționale care afectează consumatorii;
- facilitarea dezvoltării de grupuri independente de consumatori;
- continuarea cooperării internaționale în domeniul protecției consumatorului;
- încurajarea dezvoltării condițiilor de piață care să asigure consumatorului ofertă bogată la prețuri scăzute.

Se poate afirma că protecția consumatorului este o parte integrantă a protecției mediului şi a vieții, ca şi protecția şi securitatea muncii. În plus, într-o economie de piață liberă, atitudinea consumatorului poate impune cererea şi influența oferta, determinând astfel dezvoltarea economică.

Cerințele legitime ale consumatorilor cărora le răspund liniile directoare

sunt:

- protecția consumatorilor împotriva riscurilor la adresa sănătății şi a securității lor;
- promovarea şi protecția intereselor economice ale consumatorilor;
- accesul consumatorilor la informații adecvate, care să le permită să opteze în cunoştință de cauză, în raport cu nevoile proprii;
- educarea consumatorilor;
- accesibilitatea şi eficiența despăgubirii consumatorilor;
- libertatea de asociere a consumatorilor în scopul apărării intereselor lor şi a participării la procesele decizionale care îi afectează;
- promovarea modelelor de consum durabil.

Consumul durabil înseamnă satisfacerea nevoilor generațiilor prezente şi a celor viitoare pentru bunuri şi servicii utilizând modalități durabile din punct de vedere economic, social şi al protecției mediului.

Responsabilitatea pentru consumul durabil revine guvernului, mediului de afaceri, fiecărui membru şi organizații a societății civile, sindicatelor, organizațiilor consumatorilor şi celor pentru protecția mediului etc. (figura 15.3).

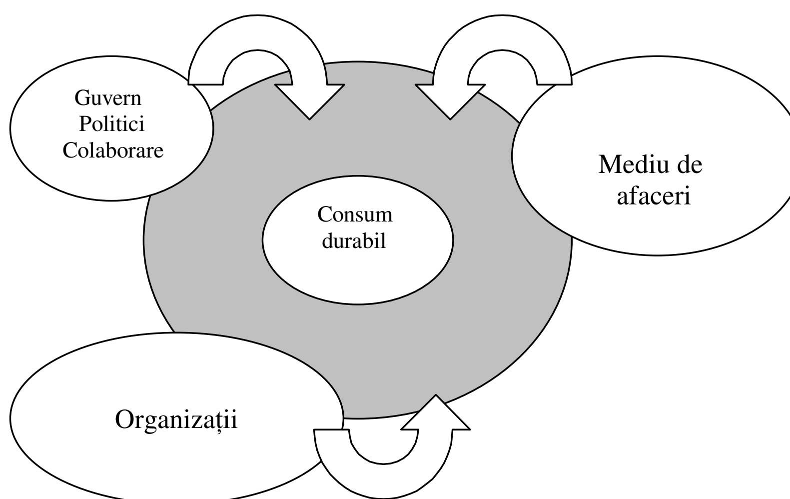


Fig. 15.3. Responsabilitățile privind consumului durabil.

Rolul primordial în implemetarea consumului durabil îl au guvernele, prin crearea infrastructurii politice, sociale şi economice pentru dezvoltarea mediului de afaceri şi a societății civile.

Responsabilitățile guvernelor în implemetarea consumului durabil:

- politicile guvernamentale trebuie să aibă în vedere eliminarea subvențiilor care promovează modele neadecvate de consum şi producție;

- promovarea consumului durabil trebuie să contribuie la eradicarea sărăciei, satisfacerea nevoilor de bază ale tuturor membrilor societăţii şi la reducerea decalajelor de dezvoltare dintre regiuni geografice şi state;

- să sprijine proiectarea, dezvoltarea şi utilizarea produselor şi serviciilor care sunt eficiente din punct de vedere al utilizării resurselor şi energiei, care nu sunt toxice şi sunt sigure, luând în considerare întreg ciclul de viaţă, de la extragerea materiilor prime, producţie, distribuţie, utilizare, la casare şi reciclare. Strategiile de îmbunătăţire a produsului includ: extinderea ciclului de viaţă, uşurinţa reparării, a reutilizării şi reciclării;

- să sprijine eforturile de inovare ale firmelor mici şi mijlocii care dezvoltă şi comercializează produse şi servicii care promovează consumul durabil;

- să sprijine conservarea energiei şi dezvoltarea resurselor energetice regenerabile;

- să sprijine dezvoltarea şi utilizarea standardelor de mediu naţionale şi internaţionale referitoare la procese, produse şi servicii, inclusiv la impactul pe piaţă şi competitivitate. Standardele de mediu nu trebuie să constituie restricţii comerciale nejustificate;

- să încurajeze, să dezvolte şi să sprijine efectuarea independentă a încercărilor de mediu pentru produse, precum şi cooperarea internaţională în testarea comună şi dezvoltarea de proceduri unificate de testare;

- să elimine sau să limiteze strict utilizarea substanţelor toxice, periculoase pentru mediu, precum cele incluse în *Convenţia de la Basel*. Substanţele noi, potenţial periculoase, trebuie testate cu prioritate privind impactul pe termen lung asupra mediului, înainte de a fi introduse în consum. Guvernele trebuie, pe termen lung, să încurajeze dezvoltarea de materiale ecologice alternative, precum şi să promoveze pe termen scurt utilizarea unor materiale mai puţin nocive. Ca mijloace de promovare sunt recomandate facilităţile fiscale şi participarea la cooperarea internaţională în dezvoltarea şi transferul tehnologic;

- să promoveze conştientizarea beneficiilor consumului şi producţiei durabile asupra stării de sănătate, ţinând cont atât de efectele directe asupra indivizilor, cât şi de efectele colective asupra mediului;

- să încurajeze, în parteneriat cu alte organizaţii, transformarea modelelor de consum nedurabil prin dezvoltarea şi utilizarea serviciilor şi a noilor tehnologii, inclusiv a tehnologiilor informaţiei şi a comunicării, care pot veni în întâmpinarea nevoilor consumatorilor, reducând poluarea şi consumul de resurse naturale;

- să creeze sau să întărească agenţiile specializate în reglementarea diferitelor domenii ale consumului durabil. Periodic trebuie să analizeze şi să revizuiască eficienţa unor astfel de agenţii, astfel încât să se asigure utilizarea celor mai bune practici în protecţia consumatorilor, evaluarea condiţiilor de mediu şi perfecţionarea reglementărilor în vigoare. Agenţiile guvernamentale trebuie să lucreze în cooperare cu organizaţiile consumatorilor;

- să ia măsuri ca prețurilor produselor şi serviciilor să reflecte costurile de mediu şi să promoveze consumul durabil. Guvernele trebuie să promoveze analiza exhaustivă a costurilor şi a beneficiilor legate de protecția mediului, internalizarea costurilor de mediu şi utilizarea instrumentelor economice care țin seama de principii precum: poluatorul plăteşte şi, respectiv, utilizatorul suportă costurile resurselor. Guvernele trebuie să considere şi diferențierea prețurilor, astfel încât populația dezavantajată să îşi poată satisface nevoile de bază;

- să facă uz de întreaga gamă a instrumentelor economice pentru promovarea consumului durabil. Sistemul de taxe trebuie astfel conceput şi implementat încât să asigure favorizarea practicilor durabile;

- să implementeze contabilizarea resurselor naturale, astfel încât să se reflecte impactul modelului şi politicilor de consum şi producție asupra mediului. Guvernele, în cooperare cu mediul de afaceri şi cu alte grupuri, trebuie să dezvolte indicatori comparabili, metodologii şi bănci de date pentru măsurarea progreselor făcute în dezvoltarea consumului durabil la toate nivelele, inclusiv casnic. Aceste informații trebuie să fie publice;

- să promoveze *transporturi durabile*, prin: reducerea utilizării autovehiculelor în oraşe, reducerea deplasărilor inutile de mărfuri, promovarea sistemelor eficiente de transport public, promovarea vehiculelor mai eficiente energetic şi mai puțin poluante. Guvernele trebuie să dezvolte şi să implementeze standarde pentru calitatea aerului şi să coopereze cu industria de autovehicule în dezvoltarea şi implementarea de standarde pentru emisiile motoarelor şi economia de combustibili;

- să dezvolte planificarea şi dezvoltarea urbană pentru a asigura un adăpost durabil şi infrastructură pentru toți, având grijă de persoanele dezavantajate. În domeniul construcțiilor trebuie să promoveze utilizarea materialelor ecologice, conservarea terenurilor şi a energiei;

- să preia inițiativa, împreună cu agențiile internaționale, în introducerea practicilor durabile în activitatea proprie şi, în special, în politicile de procurare şi achiziție. Achizițiile guvernamentale trebuie să încurajeze dezvoltarea şi utilizarea de produse şi servicii ecologice;

- să preia şi să promoveze, împreună cu organizațiile internaționale, studierea comportamentului consumatorilor şi a posibilelor influențe defavorabile asupra mediului, pentru a identifica mijloace de a face mai durabil modelul de consum o dată cu satisfacerea nevoilor de bază ale întregii populații.

Responsabilitățile mediului de afaceri în implemetarea consumului durabil:

- să promoveze consumul durabil prin conceperea, proiectarea şi dezvoltarea acelor produse şi servicii ecologice;

- să producă şi să distribuie acele bunuri şi servicii ecologice, într-un mod ecologic;

- să repare, întrețină şi recicleze produsele prin procese şi tehnologii ecologice;

- să promoveze acele procese şi tehnologii ecologice, eficiente energetic şi cu consum mic de materii prime;
- să asigure tratarea corespunzătoare a deşeurilor;
- să conserve energia şi terenul;
- să informeze corect şi complet consumatorii asupra proceselor, produselor şi serviciilor furnizate şi a riscurilor de mediu;
- să internalizeze costurile de mediu în preţul produselor şi serviciilor;
- să coopereze cu ceilalţi factori ai societăţii implicaţi în protecţia mediului, dezvoltarea durabilă, producţia şi consumul durabil.

Responsabilităţile organizaţiilor consumatorilor şi a celor de mediu în implemetarea consumului durabil sunt:

- să asigure reprezentarea şi promovarea participării publice la dezbaterile privind consumul durabil;
- să asigure informarea corectă şi completă a consumatorilor;
- să colaboreze cu ceilalţi factori ai societăţii, implicaţi în protecţia mediului, dezvoltarea durabilă, producţia şi consumul durabil.

15.7. AUDITUL DE MEDIU

Analiza de impact ecologic oferă o bază de date pentru luarea deciziilor, conştientizează şi responsabilizează salariaţii asupra importanţei problemelor de mediu, identifică mijloacele şi posibilităţile de economisire a resurselor, permite conducerii să identifice şi să recompenseze performanţele de mediu, avertizează asupra punctelor critice.

În raport cu obiectul şi momentul analizei, se pot distinge următoarele tipuri de audituri:

- analiza de perspectivă (*scoping audit*);
- analiza locală (*site audit*);
- analiza globală (*corporate audit*);
- analiza conformităţii (*compliance audit*);
- analiza preluării (*take-over audit*);
- analiza activităţii (*activity audit*);
- analiza problemelor (*issue audit*);
- analiza furnizorului (*supplier audit*);
- evaluarea impactului asupra mediu (*environmental impact assessment*).

Termenul audit desemnează un examen complex, menit să scoată în evidenţă legătura care există între ceea ce s-a declarat şi ceea ce s-a realizat efectiv (corespondenţa dintre documente, strategii şi rezultate, fapte).

Auditul de mediu al unei organizaţii este destinat certificării managementului de mediu, în vederea recunoaşterii performanţelor organizaţiei

respective. Certificarea de mediu este importantă în domenii critice pentru protejarea naturii, activități turistice în zone protejate, în industria chimică, în industria extractivă, în industria alimentară.

Tendința actuală este de a se integra certificarea de mediu în evaluarea globală a managementului organizațiilor.



ANALIZA ECOTEHNOLOGICĂ A PROCESULUI TEHNOLOGIC

16.1. NOȚIUNI GENERALE

Ecotehnologia ca ştiința a aplicării ştiințelor cu scopul tranformării substanței in bunuri cu o anumită utilitate socială în condițiile unei dezvoltări durabile presupune mai întâi cunoaşterea întregului traseu tehnologic al substanței de la starea naturala (rocă, minereu etc) la produsul finit intrat în exploatare, având apoi urmatoarele obiective:

- identificarea fiecarei etape a procesului tehnologic în care apare un anumit impact asupra mediului;
- identificarea momentului în care se produce impactul asupra mediului;
- stabilirea coeficientului de poluare;
- determinarea gradului optim de reducere a poluării;
- stabilirea de metode de prevenire a impactului negativ asupra mediului, produs de etapa respectivă, la momentul respectiv;
- stabilirea de noi metode de reducere a impactului asupra mediului sau de poluare zero dacă este posibil.

Pentru o proiectare corespunzatoare se pleaca întotdeauna de la rolul funcțional al produsului care trebuie sa fie *intr-o armonie cu mediul* si să aibă un impact cat mai mic asupra sa. Produsul este rezultatul unui proces tehnologic, desfăşurat intr-una sau mai multe locații si care, pentru început, este ca o cutie neagră (fig 16.1) în care exista un flux de ieşire care, aproape în totalitate conduce la o poluare mai mare sau mai mica asupra mediului. De aceea, fiecare etapă a procesului tehnologic trebuie cunoscută foarte bine în desfaşurarea logică a transformărilor si a impactului de etapă asupra mediului, pentru a proiecta **procesul ecotehnologic**, desfăşurat în aceleaşi locații, dar cu impact redus sau dacă este posibil impact zero asupra mediului (fig. 16.2). Se observă că la oricare proces tehnologic apar produsul, energie disipată si deşeurile care sunt principalele elemente de poluare a mediului, de aceea scopul procesului ecotehnologic este acela de a face poluarea cat mai redusă sau chiar zero prin aparitia de ecoproduse şi deseuri biodegradabile (daca este posibil).

Pentru aceasta trebuie avute în vedere următoarele:

- **Soarta Terrei** este în mâinile noastre;

- Energia este componenta *vitala* a civilizației, fără de care nu se poate vorbi de viață, dar care are întotdeauna şi o componentă care poluează mai mult sau mai puțin;

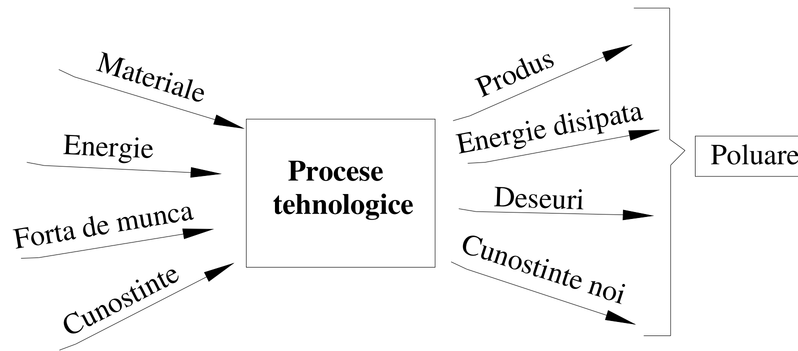


Fig. 16.1. Fluxul de intrare şi de ieşire într-un proces tehnologic.

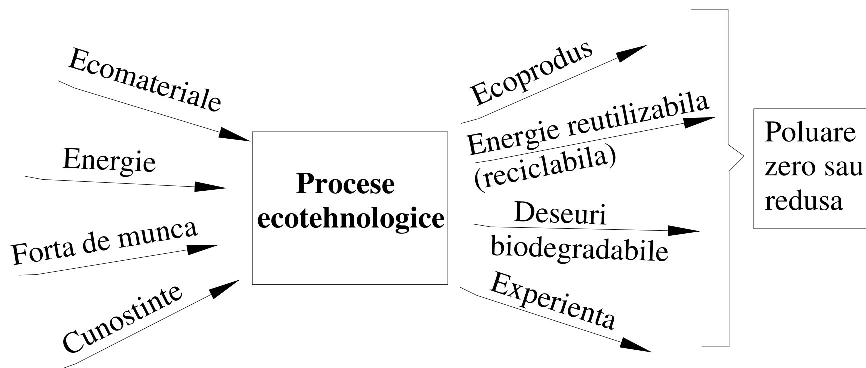


Fig. 16.2. Fluxul de intrare şi de ieşire într-un proces ecotehnologic.

- Mediul ambiant este componenta *esențiala* a vieții;

- Apa, aerul si solul sunt componentele *esențiale* de întreținere şi dezvoltare a vieții. Ele reprezintă *factorii de mediu* care pot fi puternic alterați datorită industrializării forțelor, haotice, necontrolate şi sub zodia profitului material imediat(fig 16.3);

- Resursele regenerabile si neregenerabile reprezintă *capitalul natural* al dezvoltării vieții pe Terra;

- Calitatea vieții este conceptul cheie al existenței si este rezultatul convergenței perspectivelor *sociologică, ecotehnologică si juritică,* cu referire atât la mediul social cat şi la mediul natural;

- Calitatea mediului este conceptul cheie al *menținerii vietii* pe Terra şi este rezultatul convergenței perspectivelor *biologică, ecotehnologică si juritică,* cu referire atât la mediul natural cat şi la cel artificial (fig. 16.4).

- Impactul asupra mediului este multitudinea de probleme care trebuie cunoscute inițial si luate în considerare în proiectarea etapelor fiecărui proces ecotehnologic, deoarece prin el se întelege:

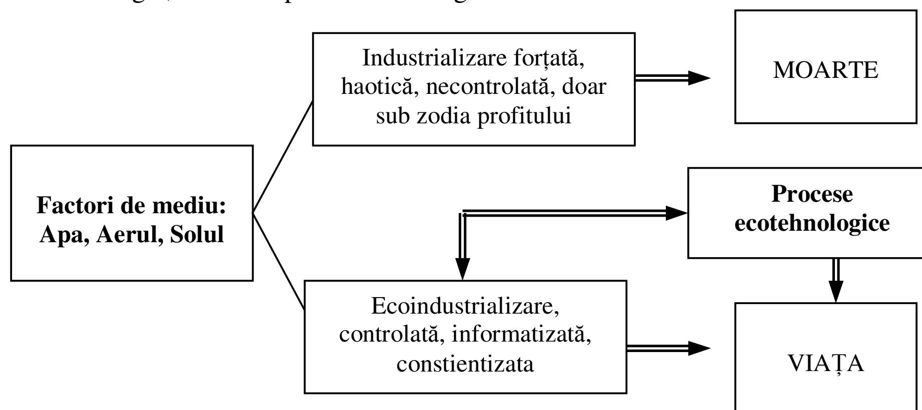


Fig 16.3. Factorii de mediu si locul proceselor ecotehnologice

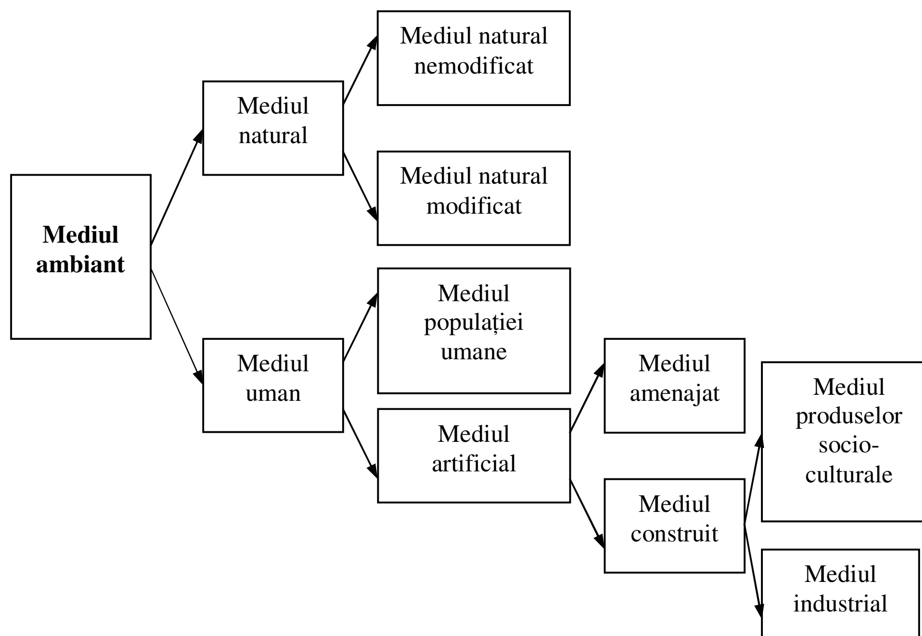


Fig 16.4. Structura globala a mediului.

- modificarea negativă considerabilă (caracteristicile fizice, chimice sau structurale) a componentelor mediului natural (fig.16.5). Principalii poluanți ai aerului se prezinta în figura 16.6., principalele zone în care apa devine inutilizabila sunt prezentate în figura 16.7, iar pentru sol, în figura 16.8.

- diminuarea diversitații biologice;

- modificarea negativă considerabilă a productivitaţii ecosistemelor naturale şi entropizate;

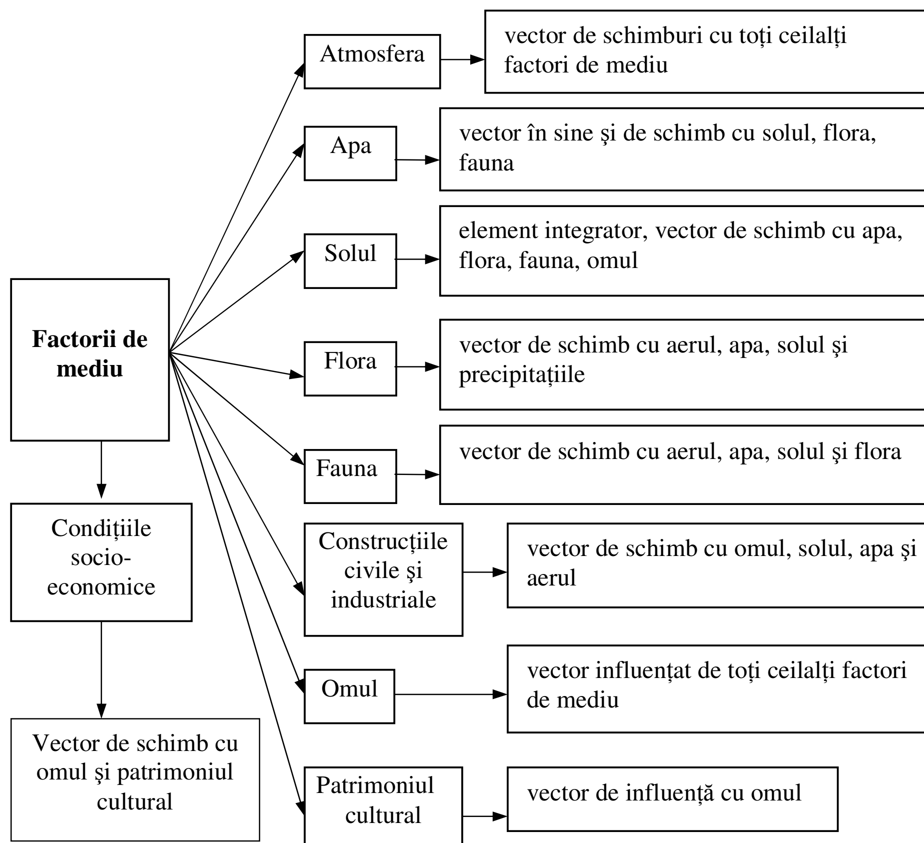


Fig 16.5. Componentele mediului ambient.

- deteriorarea echilibrului ecologic, reducerea considerabilă a calităţii vieţii sau deteriorarea structurii antropizate, cauzată in principal de poluarea apelor, aerului si a solului. Principalele cauze ale deteriorării echilibrului ecologic se prezintă în figura 16.9.

- poluare, vine de la latinescul *polluero- ere* care însemnă a murdări, a pângări, a profana. Este acţiunea prin care omul îşi murdăreşte propriul său mediu de viaţa. Este o lege naturală. Principalele categorii de poluări sunt, din punct de vedere al naturii si al mediului de manifestare, prezentate în figura 16.10.

- supraexploatarea resurselor naturale, gestionarea, folosirea sau planificarea teritoriala necorespunzătoare a acestora, ce poate apărea în prezentul imediat sau să aibă o probabilitate ridicată de manifestare în viitor;

- Poluantul, potrivit legii nr. 137 / 1976, reprezintă „*orice substanţă solidă, lichidă, gazoasă sau sub forma de vapori, ori energie (radiaţie electromangnetică, termică, ionizată, fonică sau vibraţii.) care, introdusă în mediu*

, modifică echilibrul constituenţilor acestuia şi al organismelor vii şi aduce daune bunurilor materiale”.

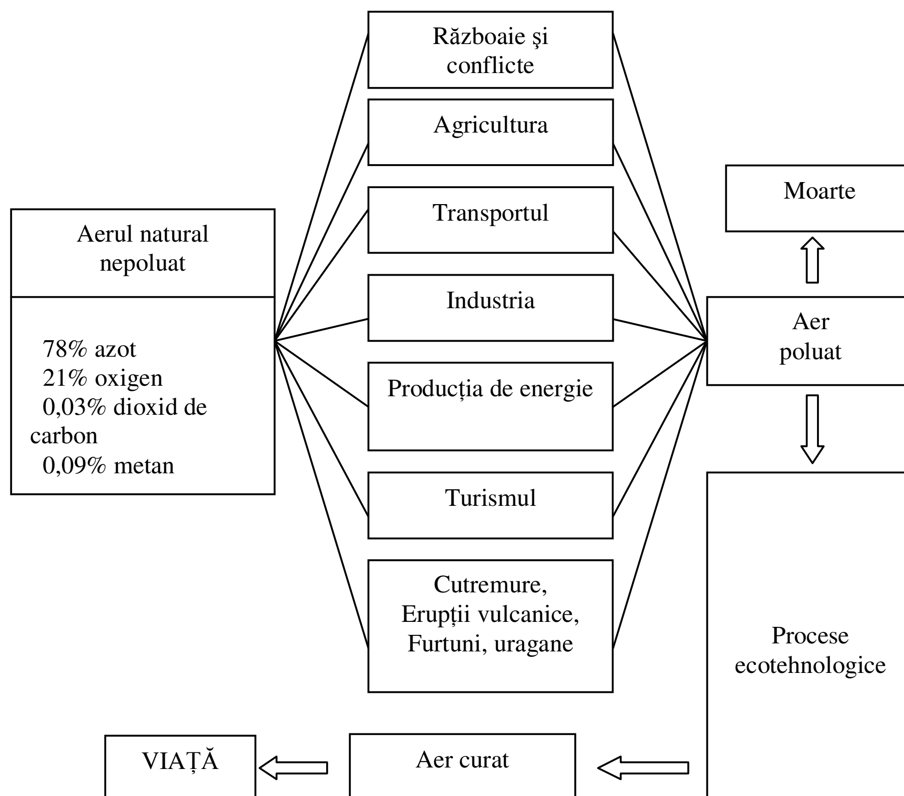


Fig. 16.6. Principalii poluatori ai aerului natural.

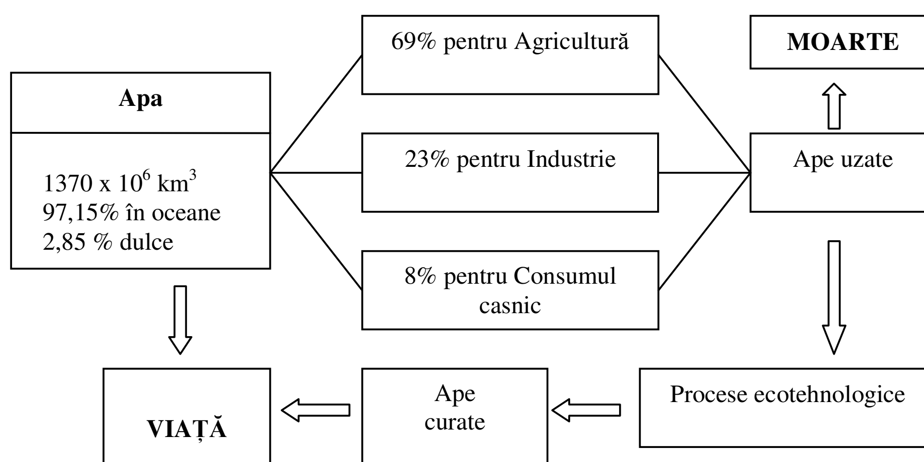


Fig 16.7. Principalele zone în care apa devine inutilizabilă.

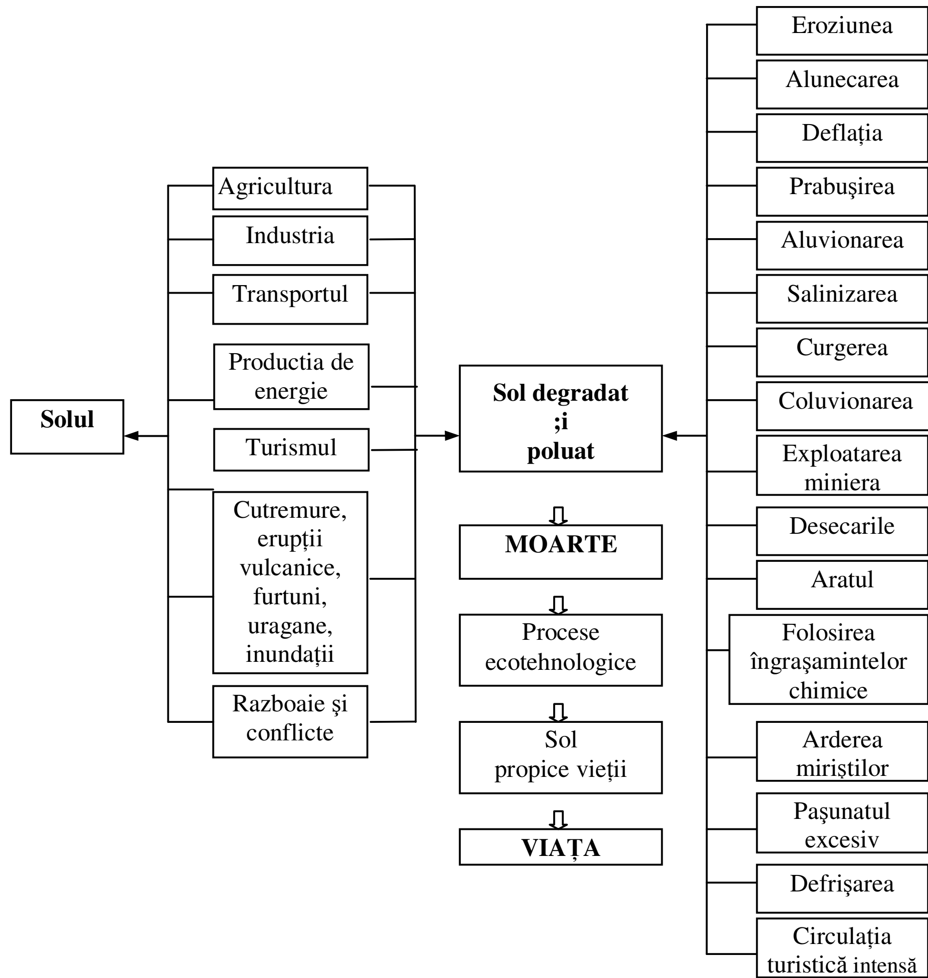


Fig 16.8. Principalele zone de poluare a solurilor.

Poluanții pot fi: *primari* (emisii directe produse de surse identificate sau identificabile) şi poluanți *secundari* (produşi prin interacținea a doi sau mai mulți poluanți sau prin reacția cu anumiți substituenți ai mediului). Efectele acțiunii poluanților asupra mediului sunt: *directe* (se manifesta prin creşterea valorilor unor mărimi preexistente în mediu sau prin introducerea unor mărimi noi, ca de exemplu creşterea concentrațiilor de CO_2 sau produselor de fisiune) şi *indirecte* (apar datorită unor modificări declanşate de poluanții primari sau de efectele directe);

- Emisia reprezintă eliberarea directă sau indirectă de substantă, vibrații, caldură sau zgomot, în aer, în apa sau sol din surse punctiforme sau difuze ale unor instalații;

- Imisia este poluarea înregistrată de un anumit receptor (omul, factorii de

mediu, bunuri etc) la o anumită distanța de sursă şi după o anumita perioadă de la generare, datorită variației acesteia din cauze spațialo-temporare;

- Instalația este o unitate tehnică staționară sau mobilă în/cu care se desfăşoară o activitate de orice natură ce poate avea efect asupra emisiilor, imisiilor şi respectiv poluării.

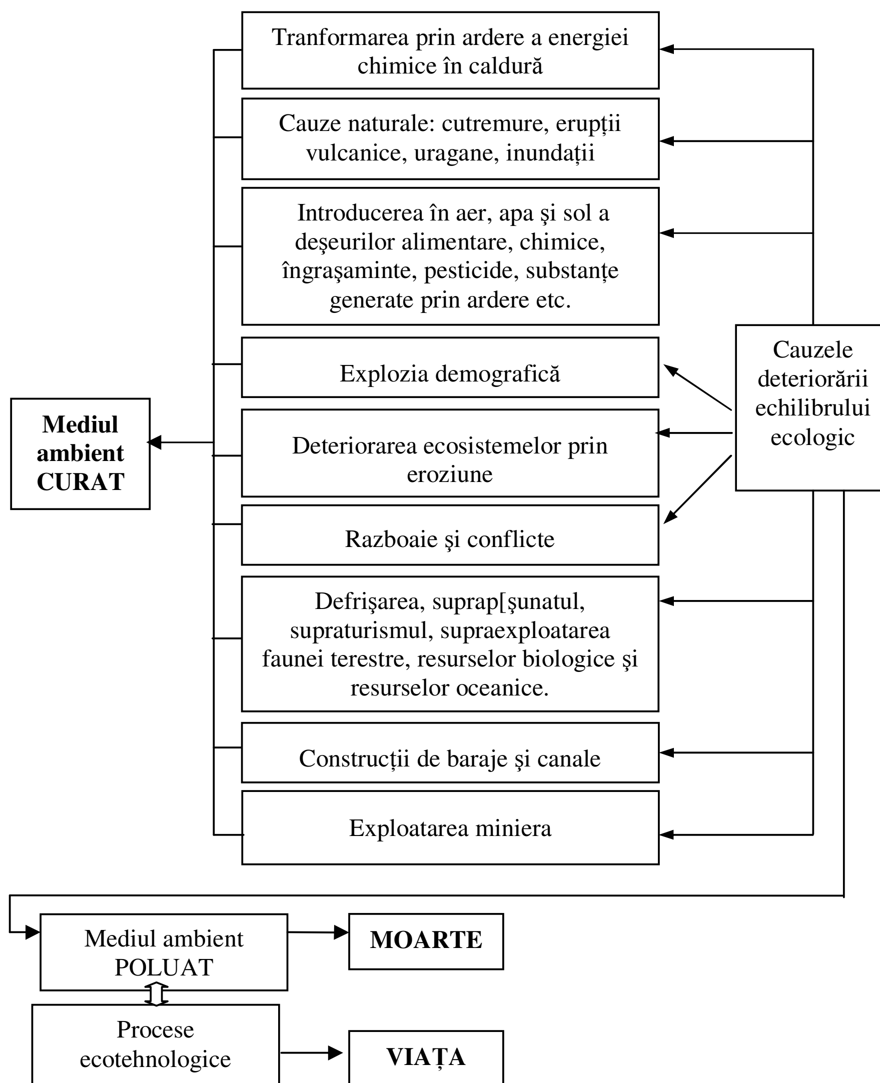


Fig 16.9. Principalele cauze ale deteriorării echilibrului ecologic.

Principalele tipuri de poluare sunt produse de *instalațiile industriale* aşa cum se vede din figura 16.11. Pentru a reduce impactul asupra mediului şi pentru a face posibilă poluarea zero, procesele ecotehnologice trebuie să aibă în vedere în primul

rând instalațiile industriale ce participă la transformarea substanței naturale, din stare inutilizabilă în stare prelucrată. Câteva din soluțiile ce trebuie adoptate se prezintă în figura 16.12;

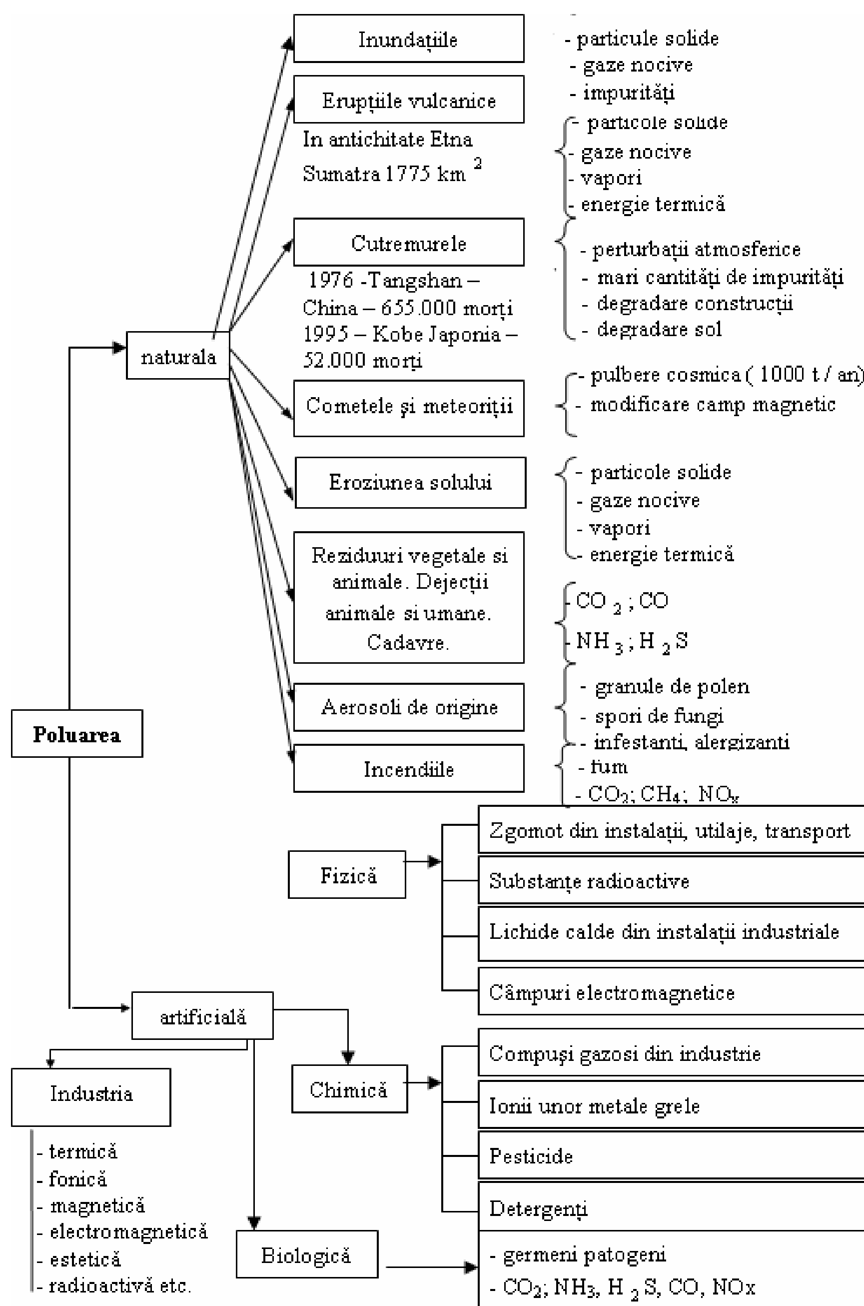


Fig 16.10. Principalele categorii de poluare.

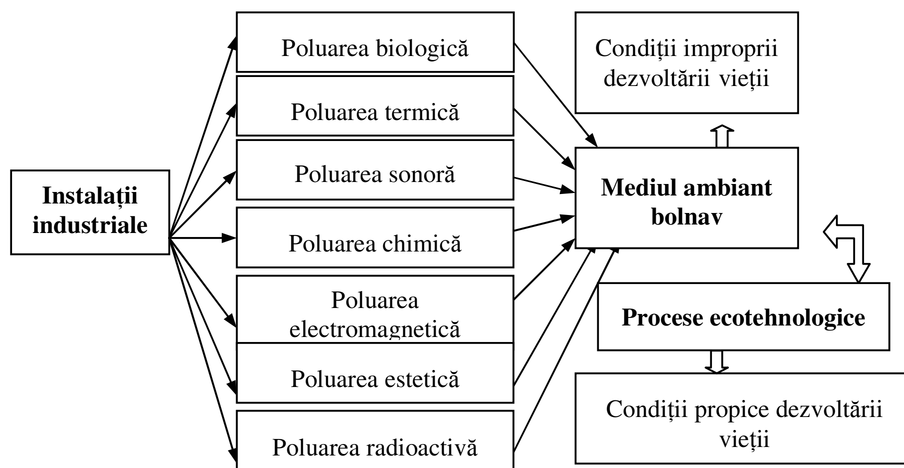


Fig 16.11. Tipuri de poluare produse de instalațiile industriale.

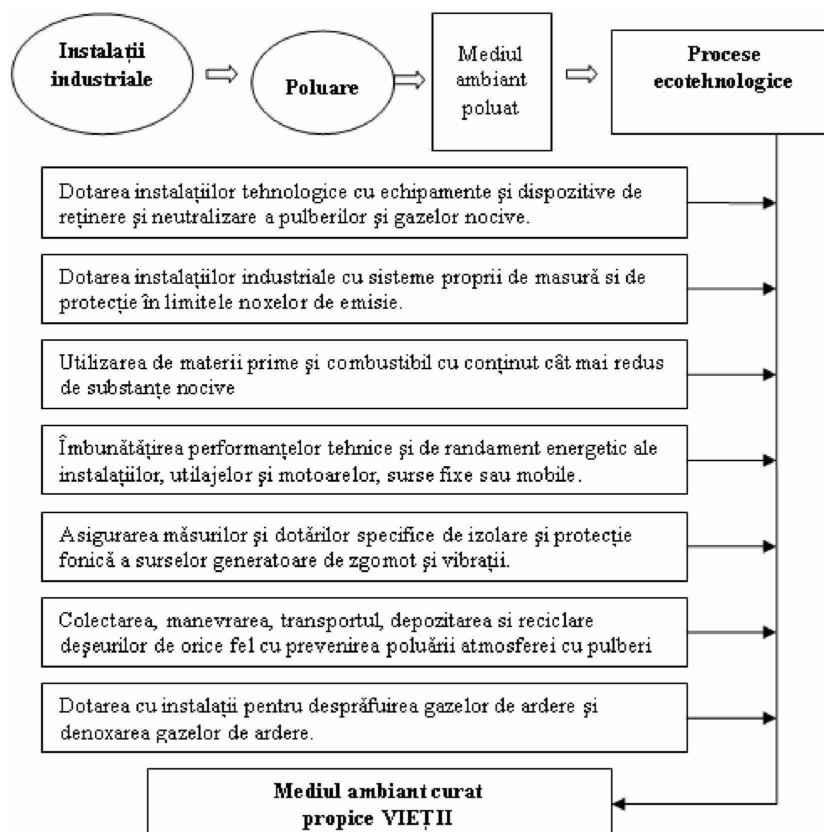


Fig 16.12. Rolul proceselor ecotehnologice și cateva din soluțiile ce trebuie adoptate în privința instalațiilor industriale ce produc poluarea mediului.

– **Materialele procesate într-un flux tehnologic** sunt toate substanţele ce fac obiectul activităţilor tehnologice de realizare a unui produs, serviciu sau de petrecere a timpului liber. Materialele pot fi *primare, intermediare sau secundare* (fig. 16.13).

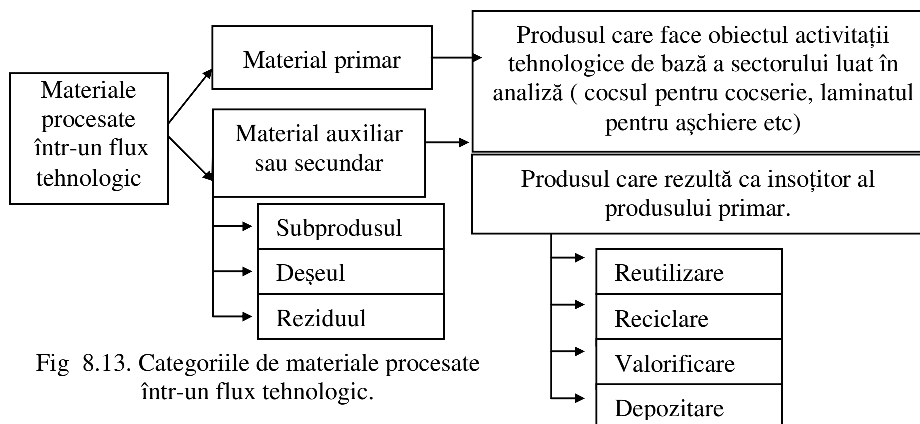


Fig 8.13. Categoriile de materiale procesate într-un flux tehnologic.

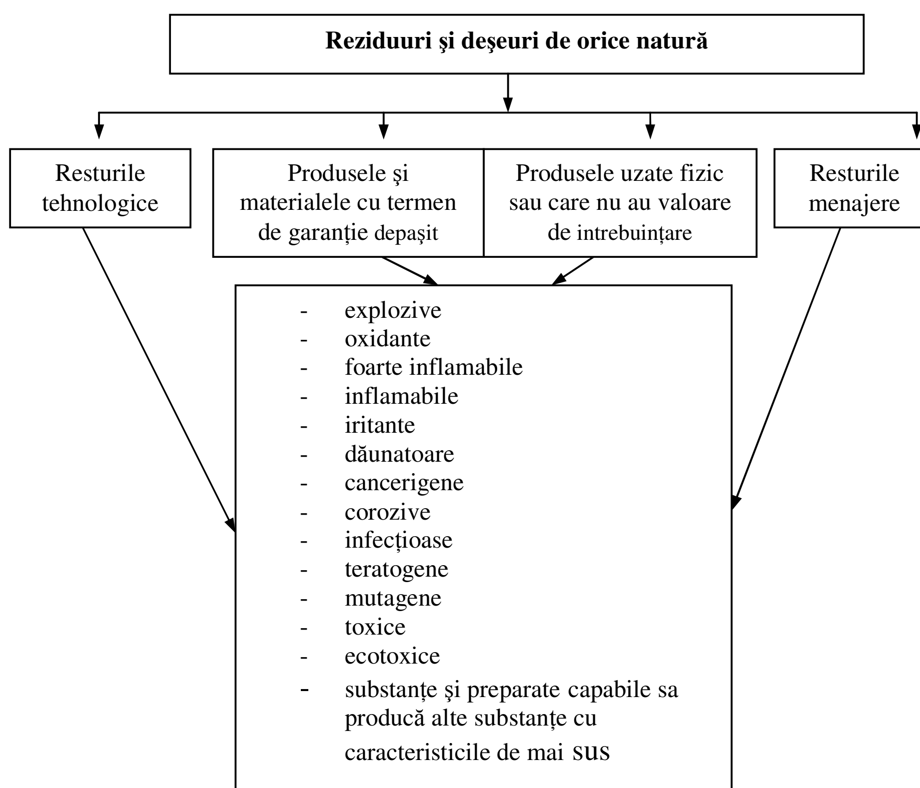


Fig 16.14. Clasificarea reziduurilor si deşeurilor după proprietăţile care le fac periculoase pentru sănătate şi viaţă.

– **Reziduurile si deşeurile de orice natura** sunt substanțele sau energia fabricate sau provenite din procesele tehnologice de fabricație, prestări servicii sau alte procese care implică risc semnificativ pentru sănătate sau mediu. În funcție de proprietățile care le fac periculoase reziduurile si deşeurile se clasifică conform figurii 16.14.

– **Conturul industrial** este spațiul în care are loc procesul de fabricație de realizare a produsului (conturul tehnologic), spațiul în care se precizează destinația produselor primare şi auxiliare (conturul sectorial) şi spațiul în care are loc definitivarea gradelor de prelucrare a produselor si schimburile de produse auxiliare între sectoare (conturul fluxului integrat);

– **Mediul protejat,** înseamnă mediul (natural şi antropic) *ferit* de influențele negative prin descoperirea şi eliminarea cauzelor, atenuarea şi chiar neutralizarea efectelor poluării spre binele comunității.

– **Ingineria socială,** specializare care se ocupă de optimizarea impactului politicilor, tehnologiilor si echipamentelor industriale asupra calității vieții (consecințele sociale ale noilor tehnologii – responsabilitatea sociala a corporațiilor).

16.2. ELEMENTE DE BAZĂ ÎN PROIECTAREA PROCESULUI ECOTEHNOLOGIC

Pentru a putea proiecta procesul ecotehnologic cu toate datele necesare este utilă cunoaşterea mai intâi a traseului tehnologic corespunzator procesului ce se vrea realizat. O schemă de principiu pentru o diagramă flux a procesului tehnologic de realizare a unui produs se prezintă în figura 16.15. Pentru a putea calcula coeficientul de poluare, pentru a determina gradul optim de reducerea poluării şi pentru a putea întocmi **traseul ecotehnologic** trebuie cunoscute etapele si momentele în care se produce impactul de mediu. Acestea vor fi marcate cu un asterisc (*) în toate schemele folosite în continuare.

Principalele etape în proiectarea procesului tehnologic sunt:

1° *Stabilirea rolului funcțional al produsului* (proiectarea unui produs care sa îndeplinescă un anumit rol funcțional) – se face folosind analiza morfofuncționala a suprafețelor (vezi Tratat de Tehnologia Materialelor – Ed. Academiei, Bucureşti 2002, pag 61);

2° *Alegerea materialului optim pentru confecționarea produsului* – se face folosind metoda de analiză a valorilor optime (vezi Tratat de Tehnologia Materialelor – Ed. Academiei, Bucureşti 2002, pag 241); Materialul din care se confecționează produsul este elementul cel mai important din punct de vedere al impactului asupra mediului deoarece elaborarea materialului este etapa cea mai poluantă din traseul tehnologic al unui produs. De aceea, pentru a face posibilă calcularea coeficientului de poluare introdus de această etapă trebuie ținut cont de mai multe cunoştințe.

În general, pentru obținerea unui material se porneşte de la minereul corespunzator care mai întâi se supune unor operații de *preparare* care, în general

se fac dupa o schema de principu de forma celor prezentate în figurile 16.16.... 16.20. Se vede aşadar că în afară de prima şi ultima etapă de preparare, toate celelalte etape au un impact foarte mare asupra mediului. Se calculează apoi coeficientul de poluare la preparare Cpp, cu relaţia:

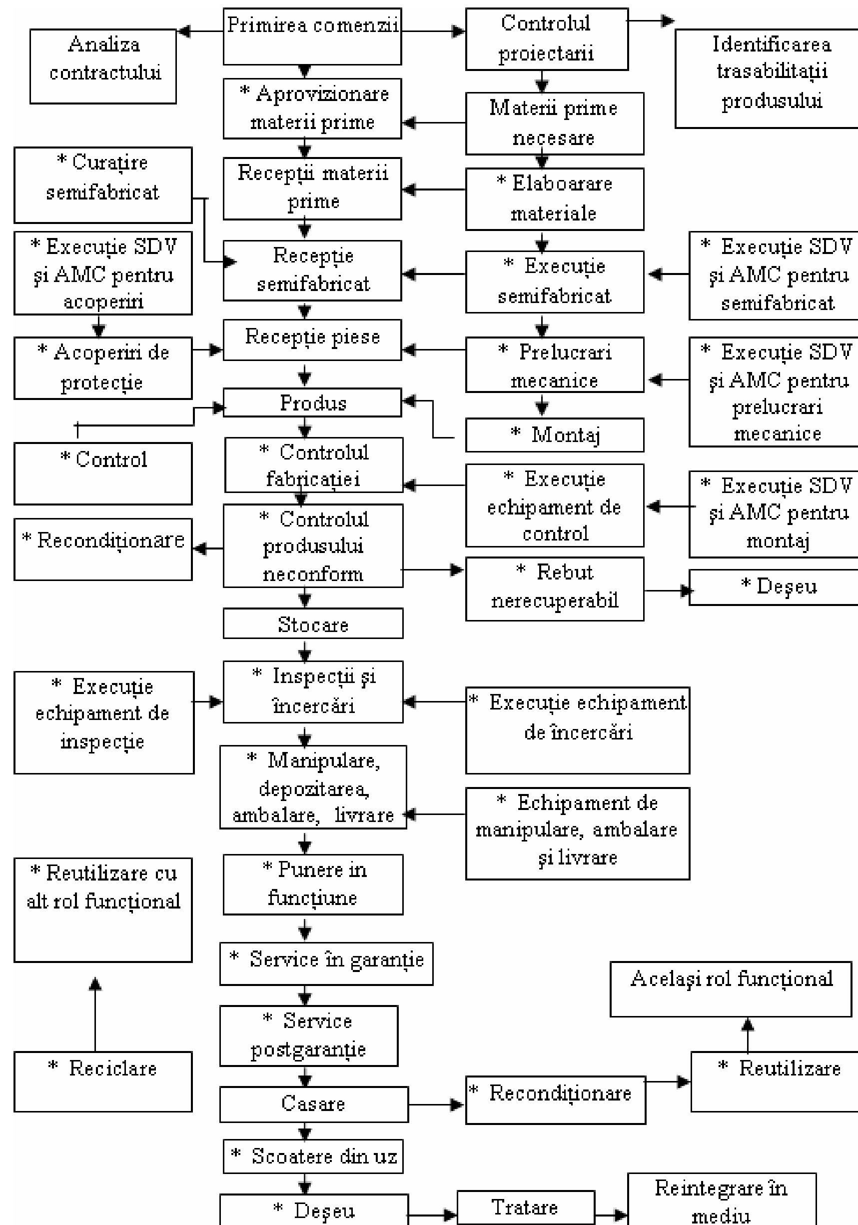


Fig 16.15. Scheme de principiu a diagramei flux a procesului tehnologic de realizare a unui produs (* - etapele si momentele de impact asupra mediului).

$$Cpp = Qtp \cdot Qcom = (Qpa + Qpl + Qps)\,Qcom[\text{t emisii}] \qquad (16.1)$$

în care: Qcom este cantitatea de minereu concentrat obținut prin preparare din minereu primar;

Qpa – cantitatea de materiale ce poluează atmosfera;
Qpl – cantitatea de material ce poluează apa;
Qps – cantitatea de materiale ce poluează solul;
Qtp – cantitatea totală de substanță poluantă;
Qpa, Qpl și Qps se exprimă în tone emisii/tona de minereu preparat.

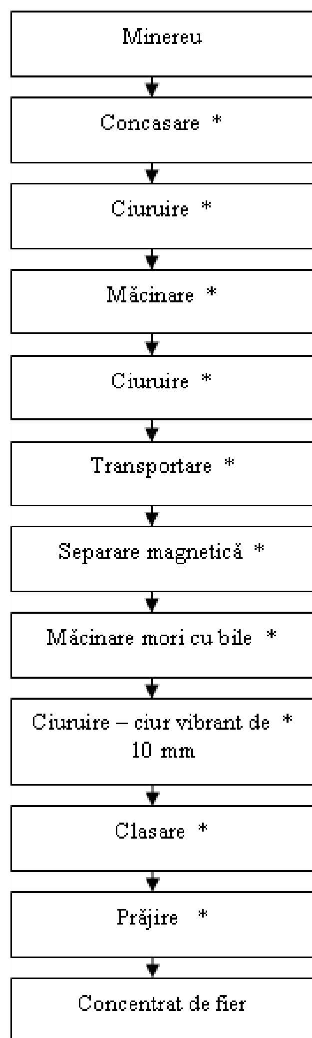


Fig 16.16. Schema de principiu a preparării unui minereu de fier (* - etape și surse de poluare).

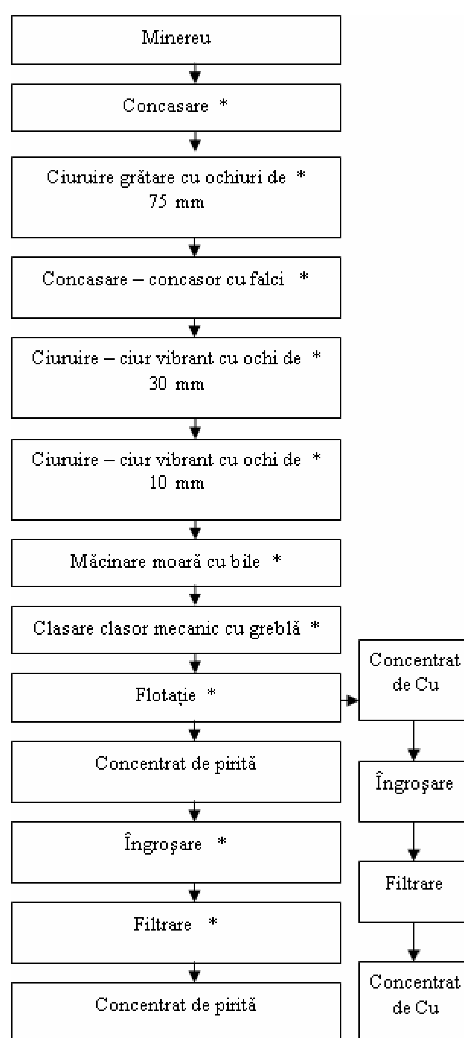


Fig 16.17. Schema de principiu a preparării unui minereu de cupru (* - etape și surse de poluare).

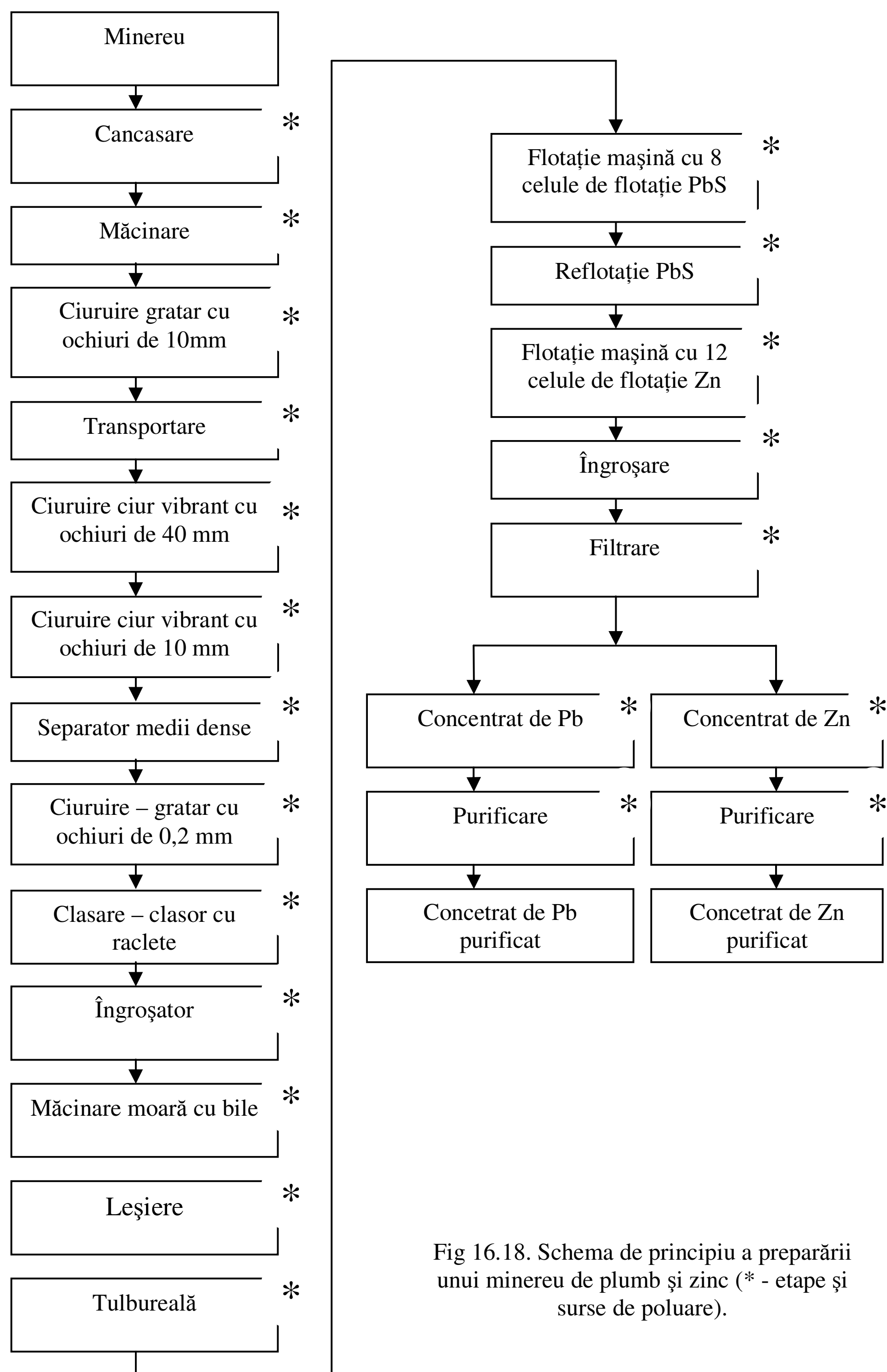


Fig 16.18. Schema de principiu a preparării unui minereu de plumb şi zinc (* - etape şi surse de poluare).

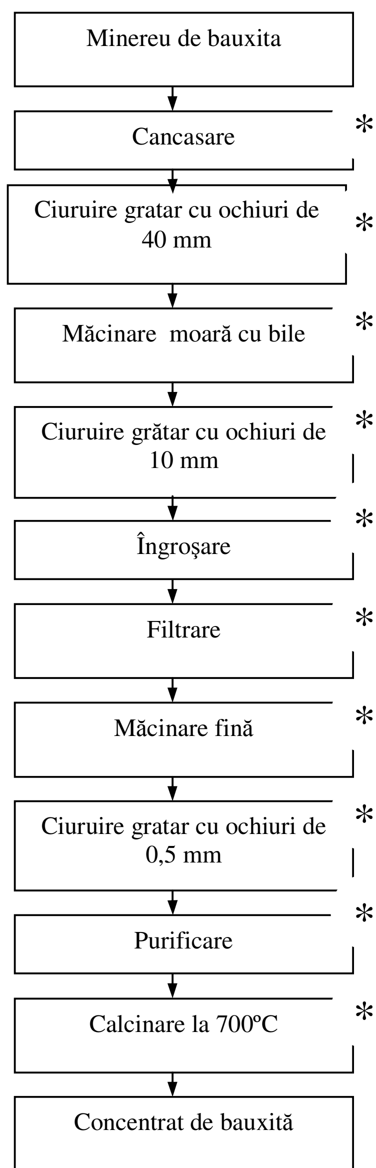


Fig 16.19. Schema de principiu a prepararii unui minereu de aluminiu (* - etape şi surse de poluare).

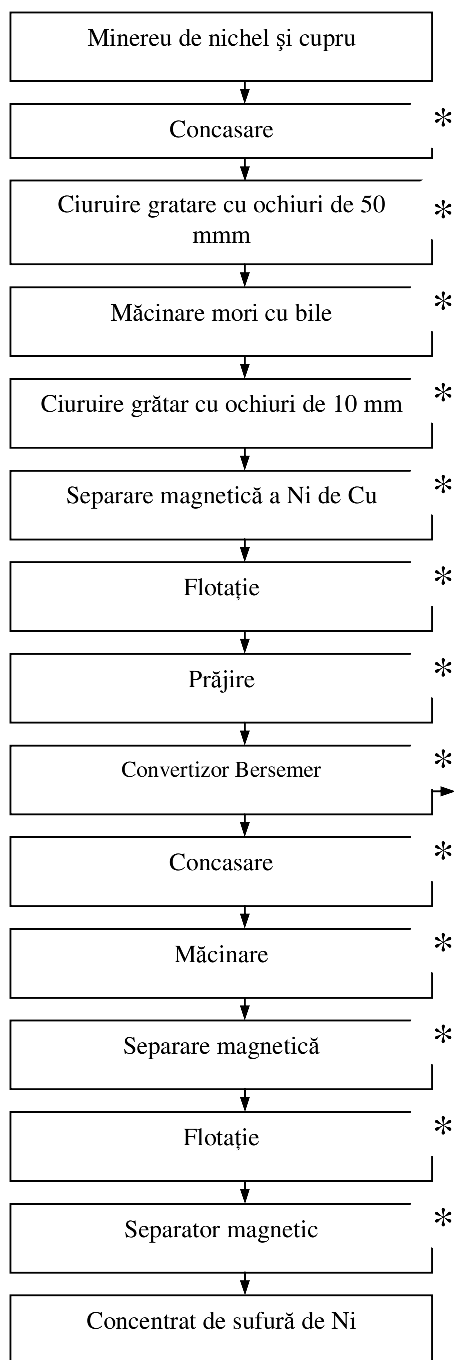


Fig 16.20. Schema de principiu a prepararii unui minereu de nichel (* - etape şi surse de poluare).

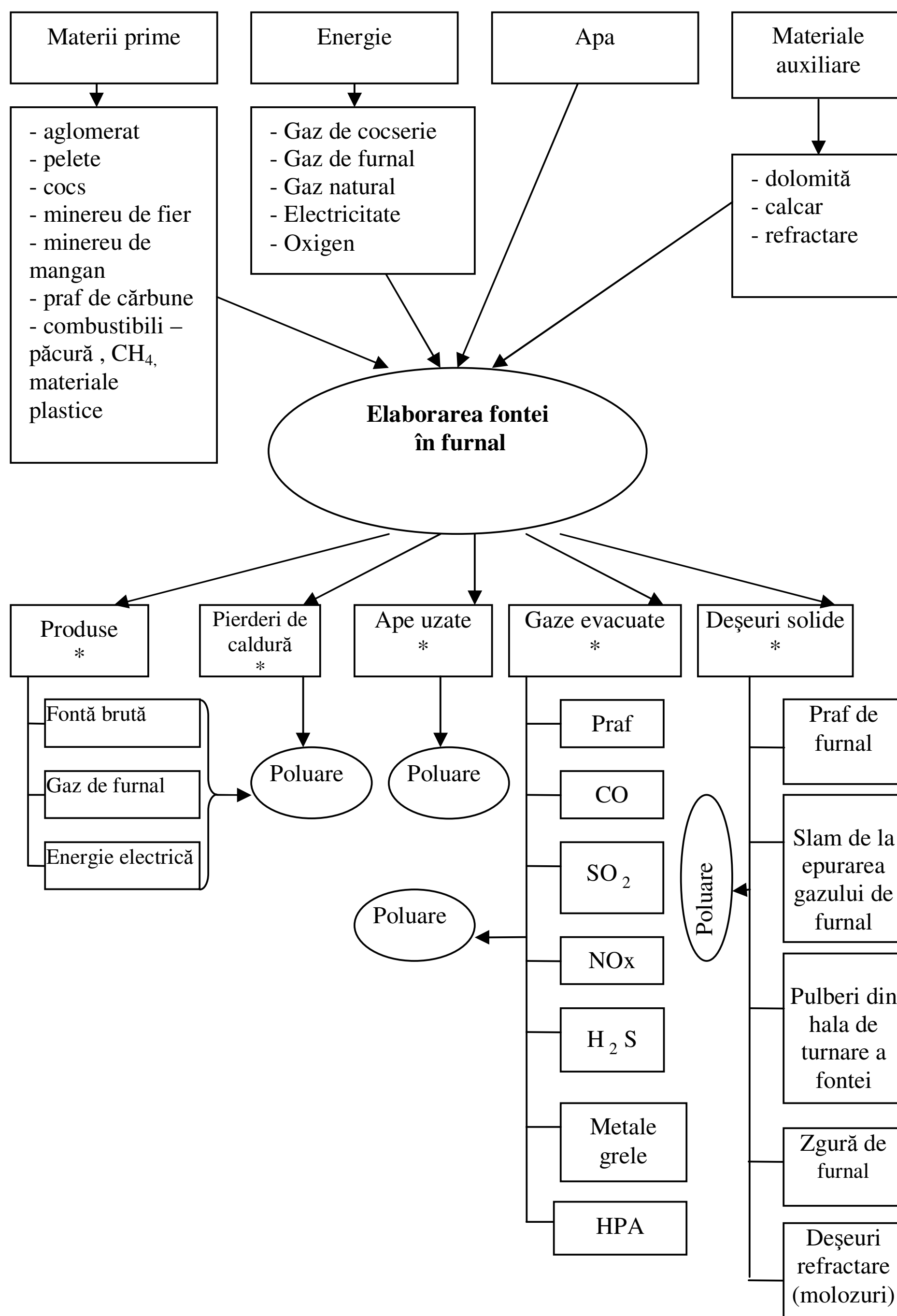


Fig 16.21. Fluxul de mateiale şi poluarea la elaborarea fontei în furnal (* - etapele şi sursele de poluate).

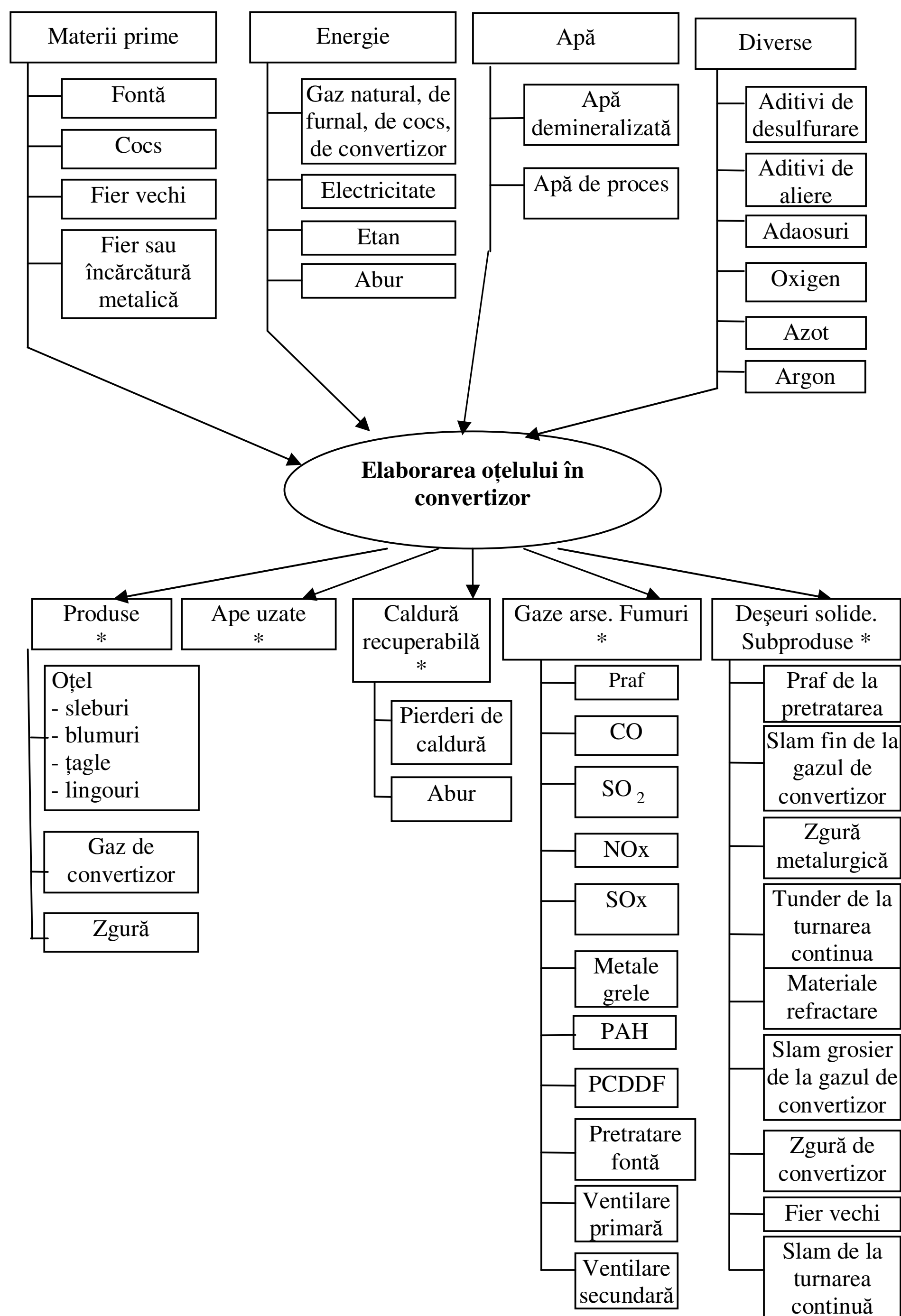


Fig 16.22.a. Procesul de elaborare a oţelului în convertizor şi sursele de poluare (* - etapele şi sursele poluante).

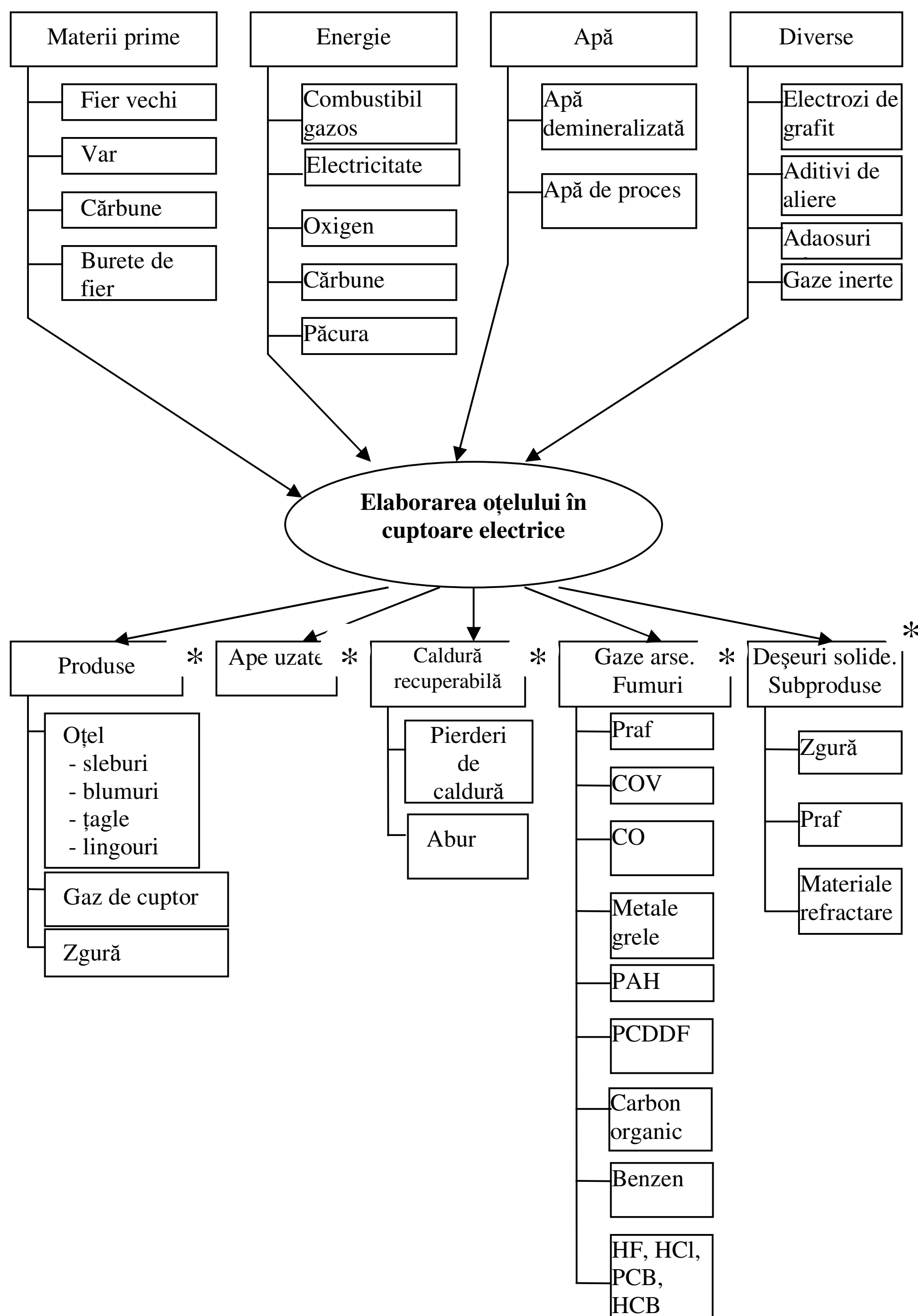


Fig. 16.22.b. Procesul de elaborare a oțelului în cuptoare electrice
(* - etapele poluante).

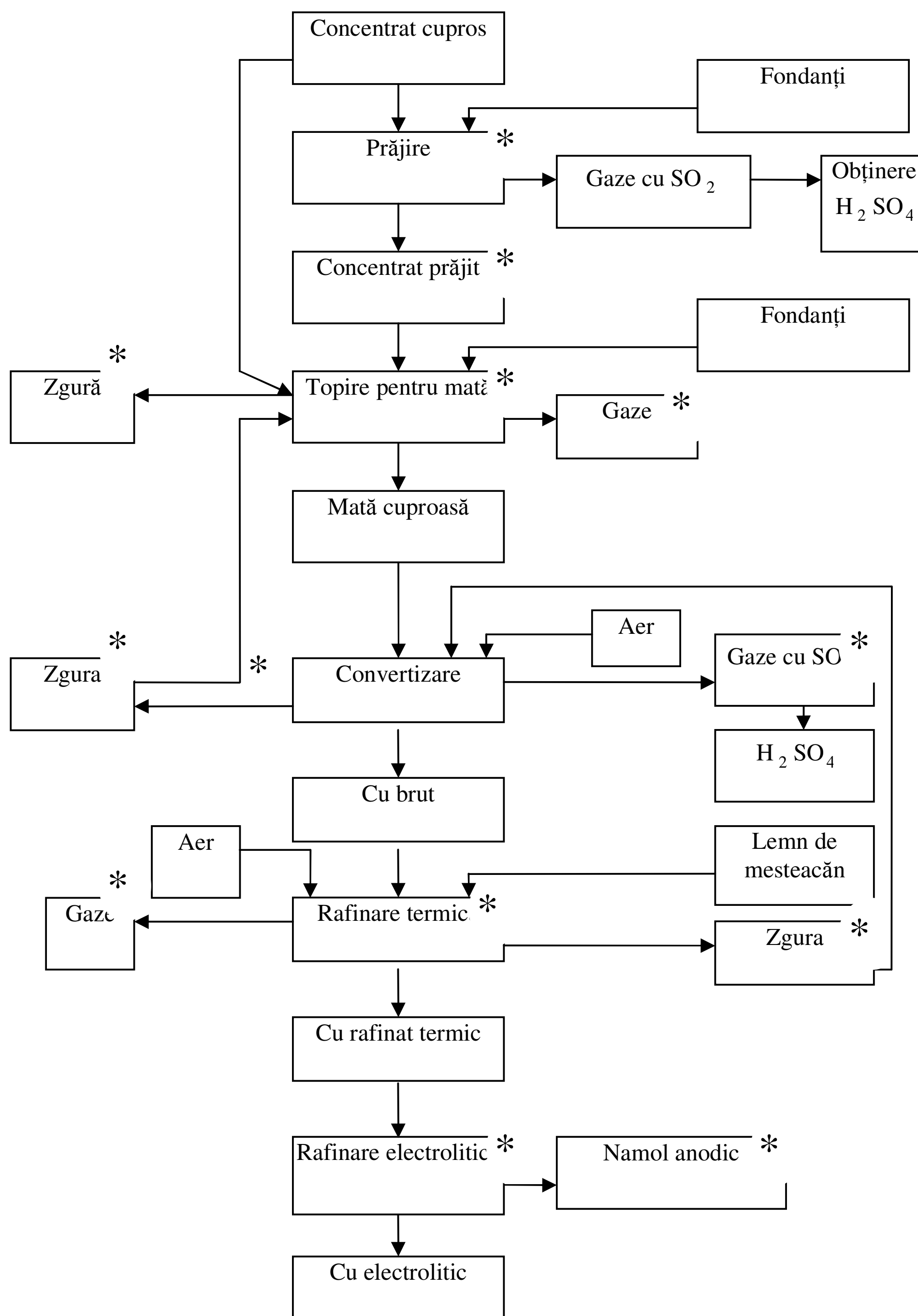


Fig 16.23. Schema de obținere a Cu din concentratele sulfuroase de cupru (* - etapele şi sursele de poluare).

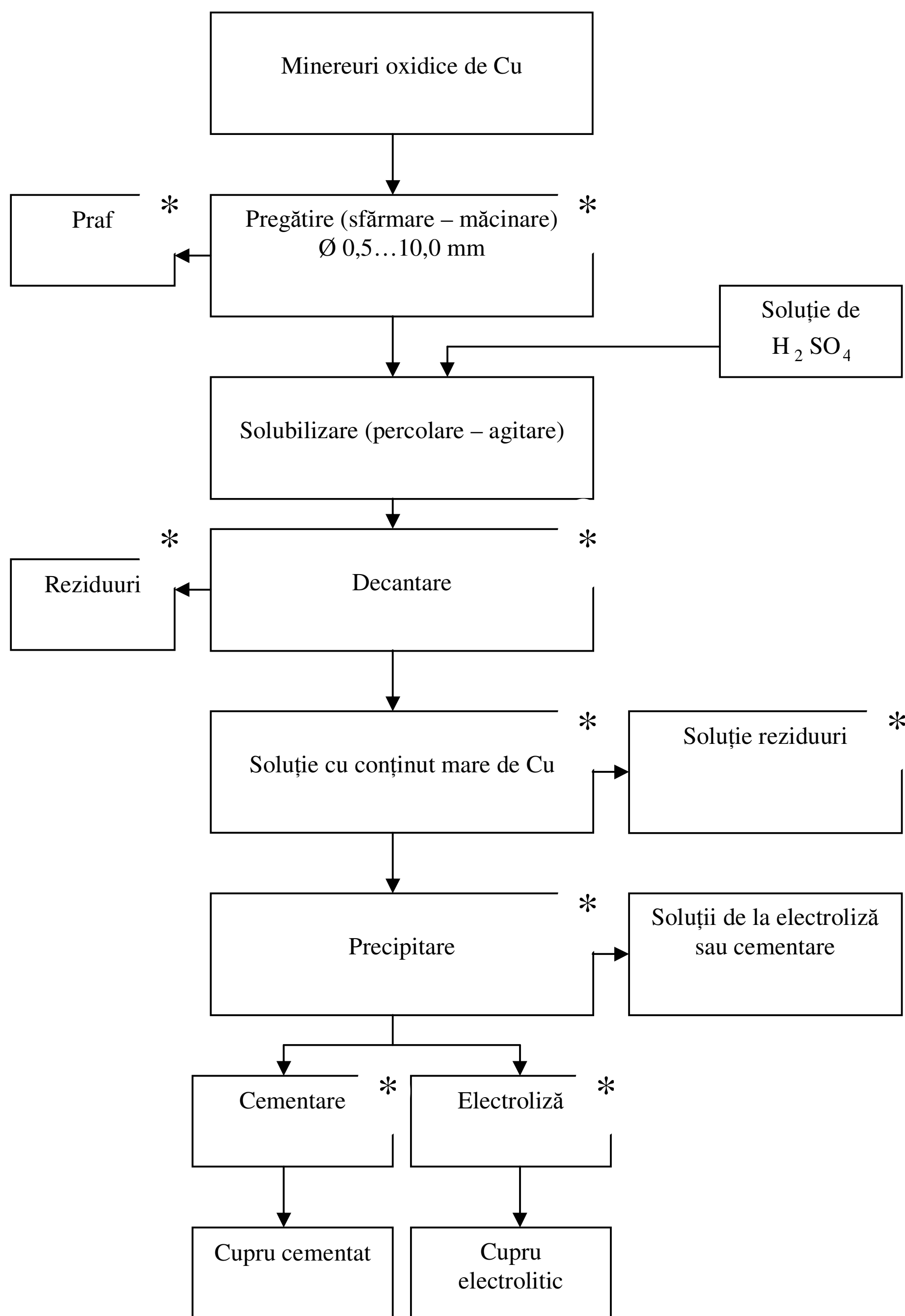


Fig 16.24. Schema de principiu la extracția metalurgică a cuprului
(* - etapele poluante).

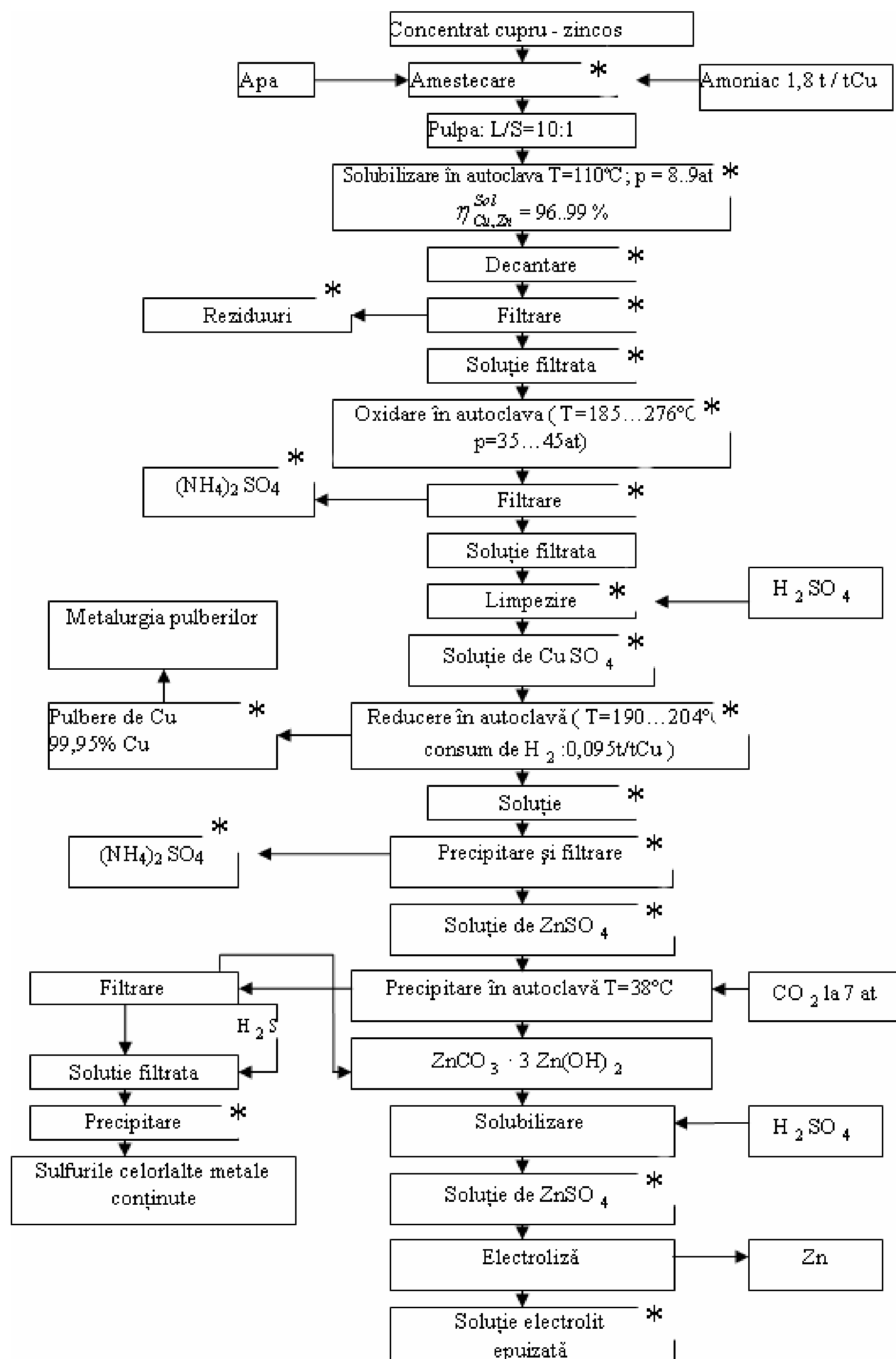


Fig. 16.25. Schema de obţinere a cuprului şi zincului din concentratele complexe (* - etapele şi sursele de poluare).

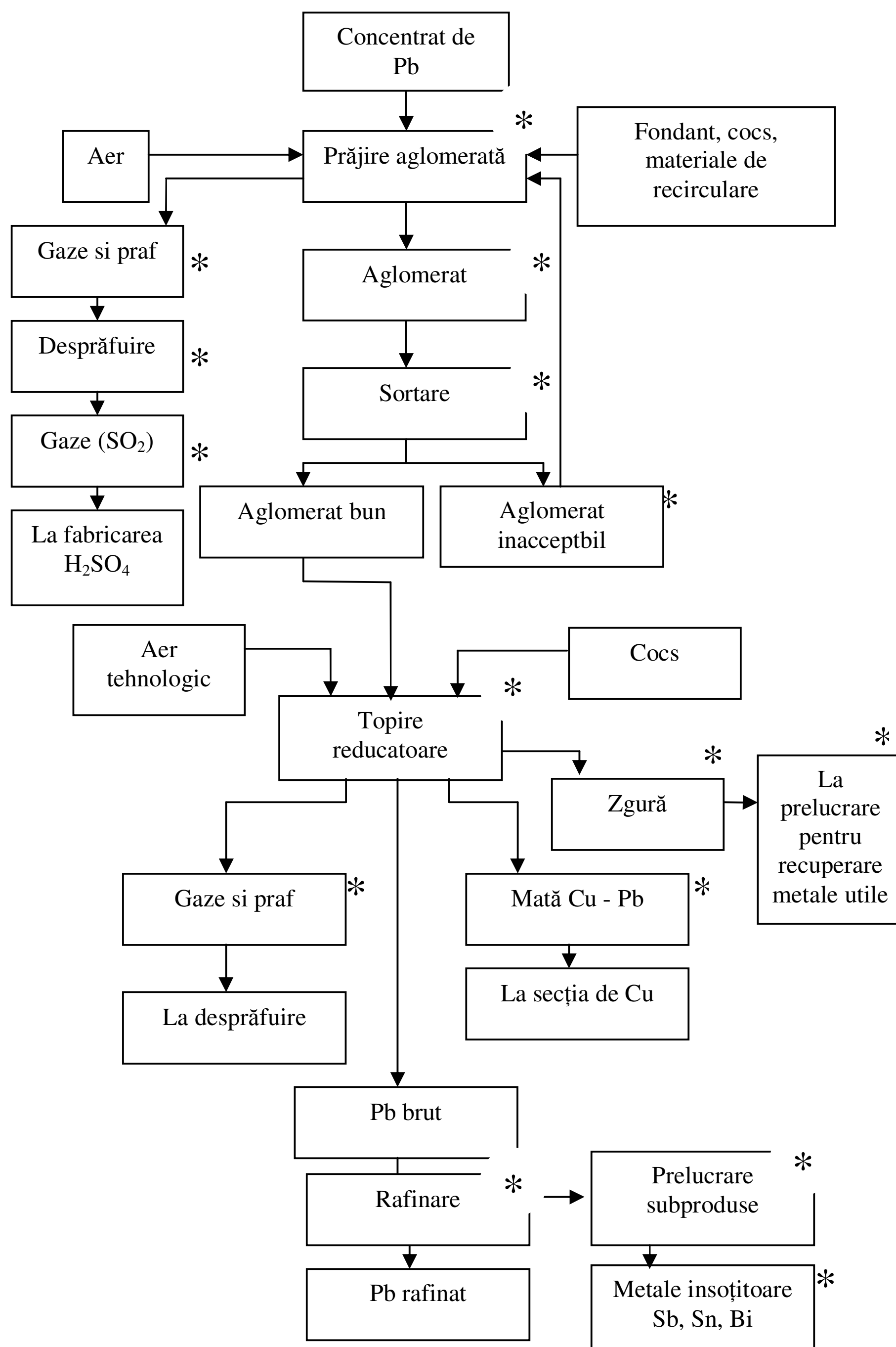


Fig 16.26. Schema de principiu de obținere a Pb prin topire reducatoare (* - etapele şi sursele de poluare).

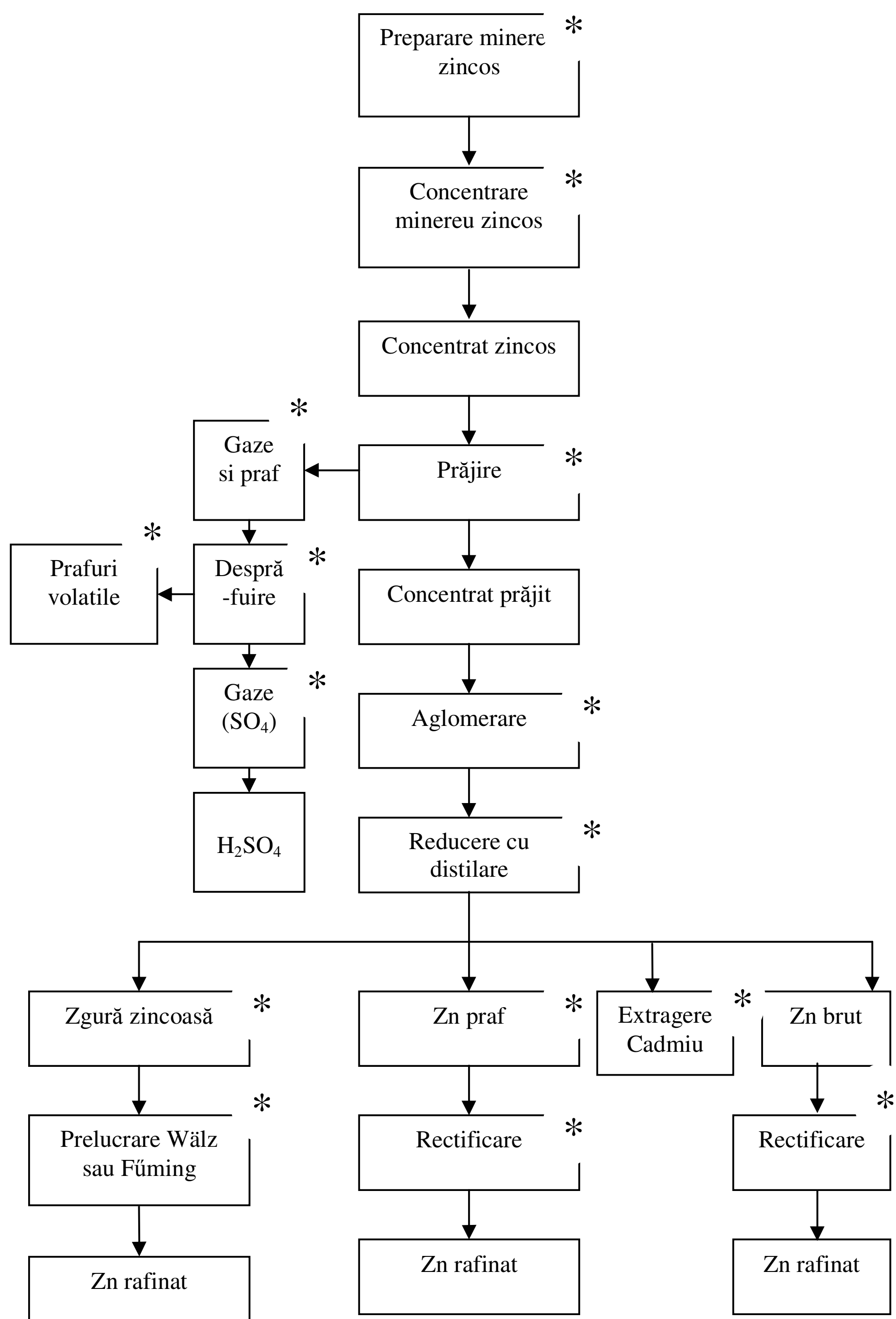


Fig 16.27. Schema obtinerii Zn prin procedeul pirometalurgic clasic (* - etapele şi sursele de poluare).

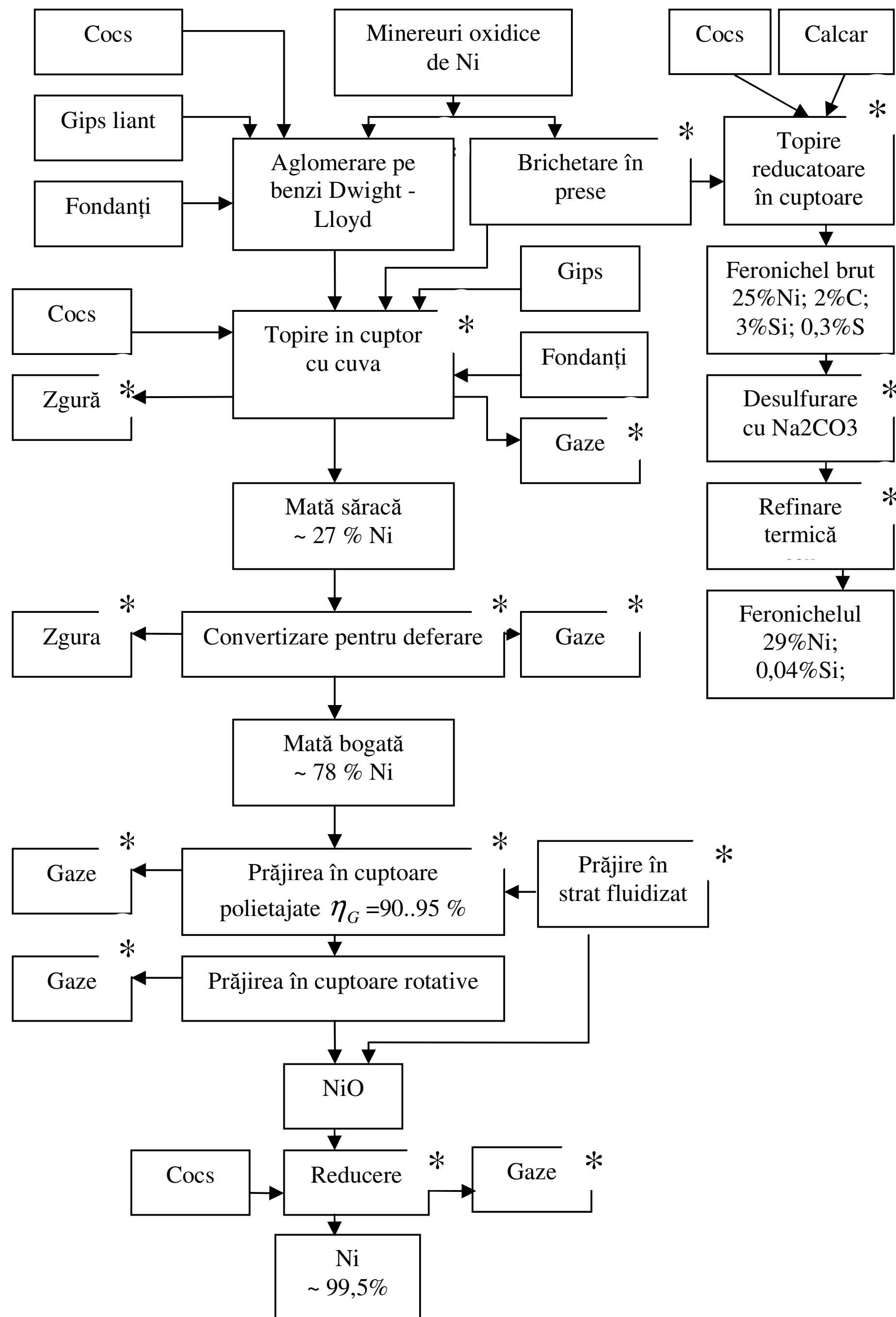


Fig 16.28. Schema de obtinere a Ni din minereuri oxidice de Ni
(* - etapele şi sursele de poluare).

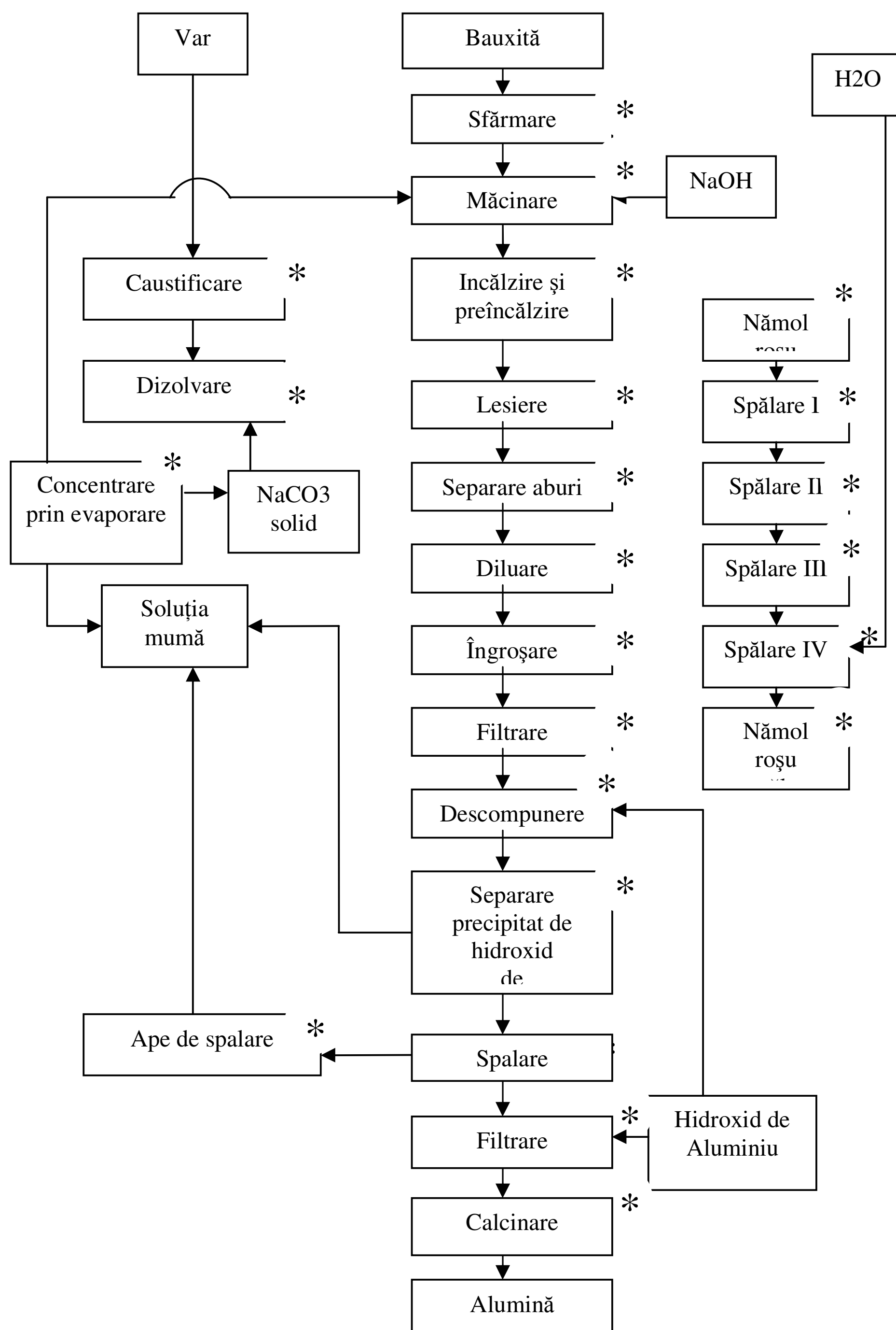


Fig 16.29. Schema obținerii aluminiului dupa tehnologia Bayer
(* - etapele şi sursele de poluare).

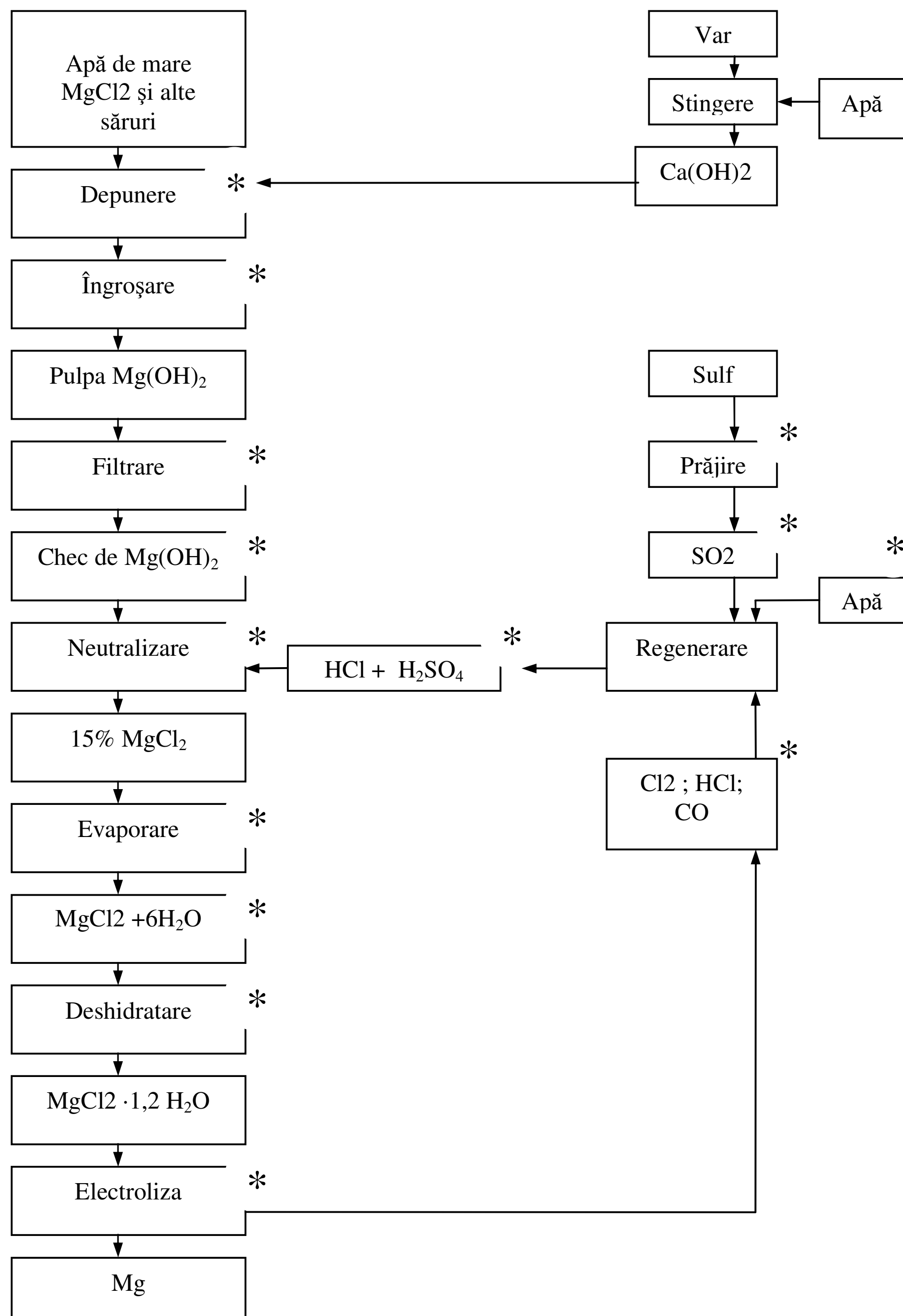


Fig 16.30 . Schema obţinerii magneziului
(* - etapele şi sursele de poluare).

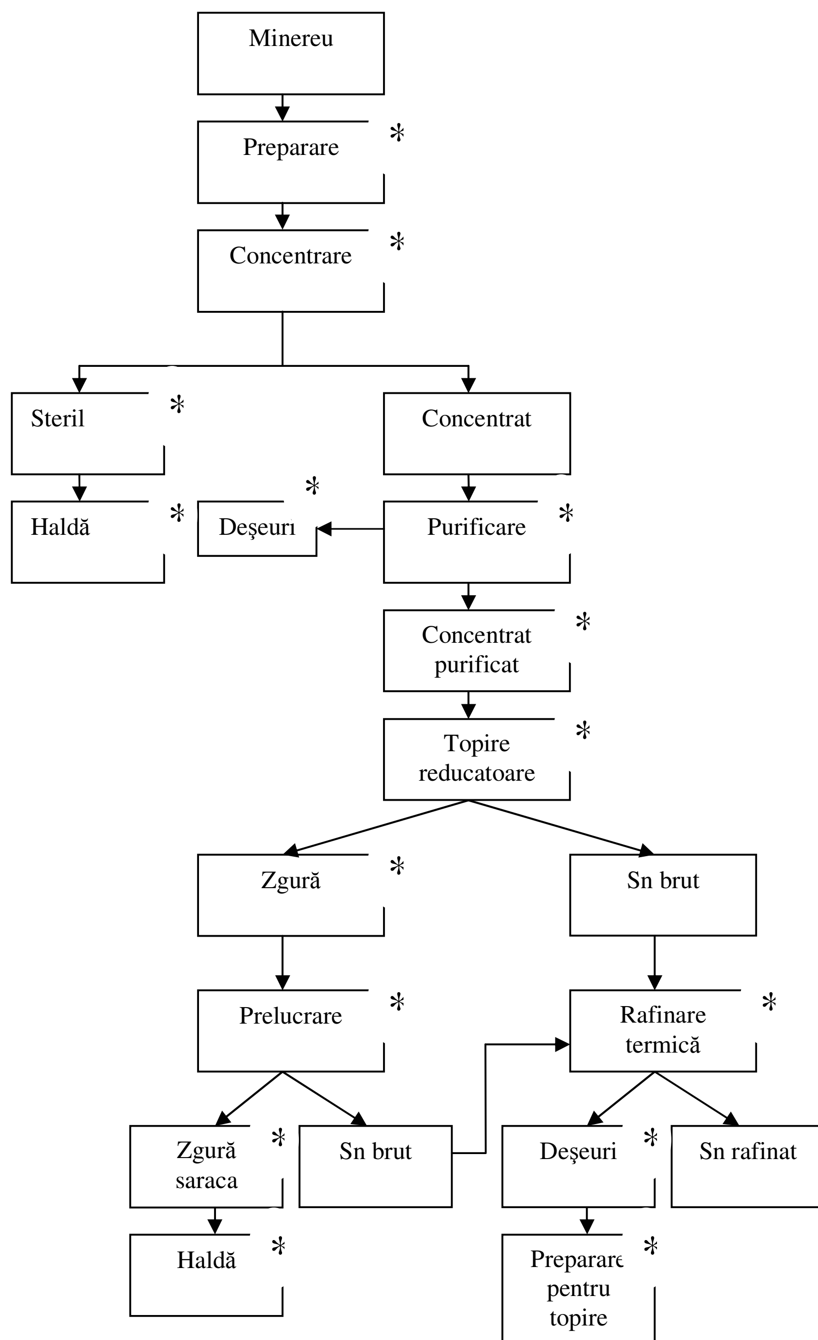


Fig 16.31. Schema obţinerii Sn din minereuri cu Sn
(* - etapele şi sursele de poluare).

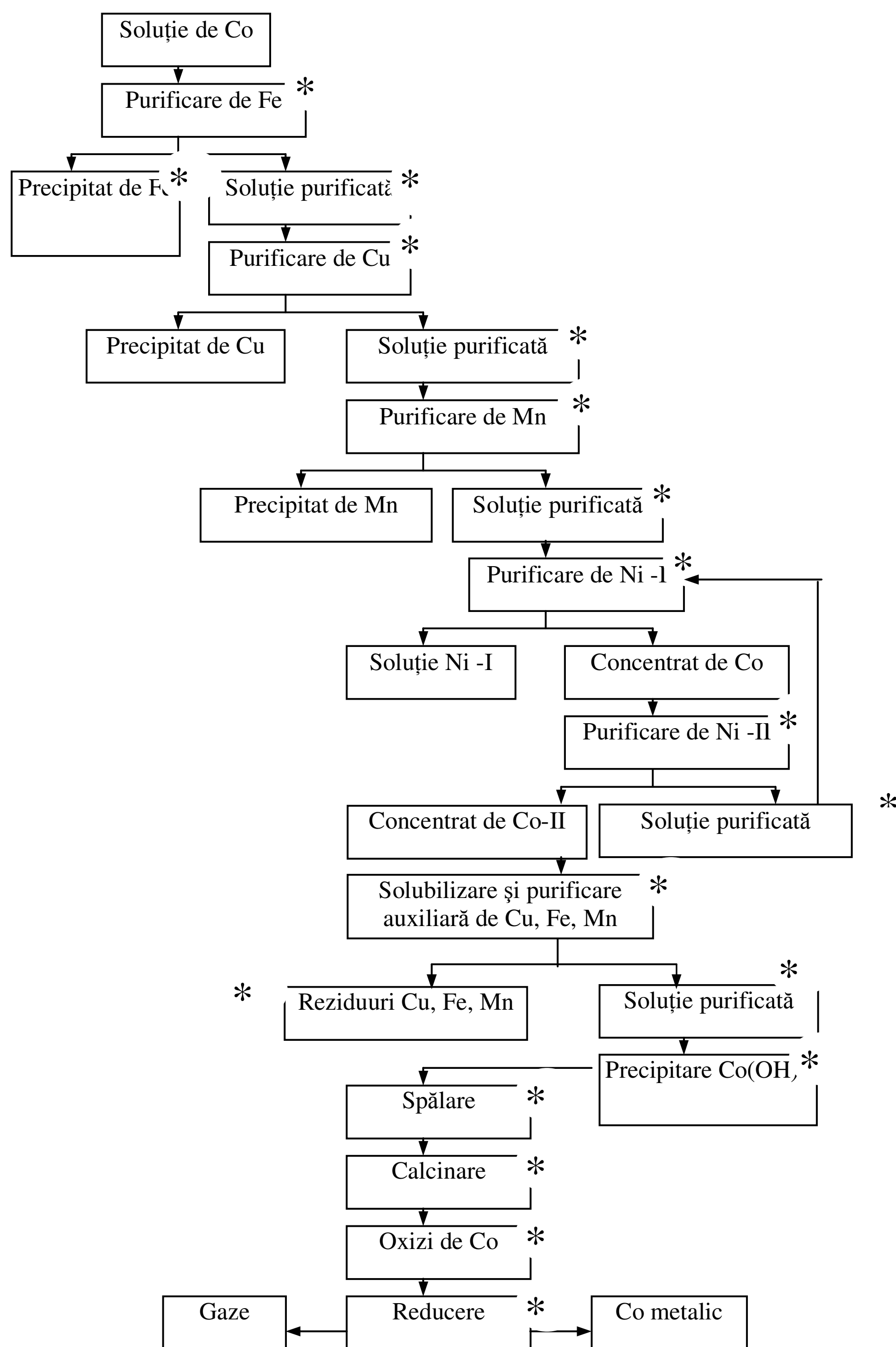


Fig 16.32. Schema obținerii Co metalic din minereuri complexe
(* - etapele şi sursele de poluare).

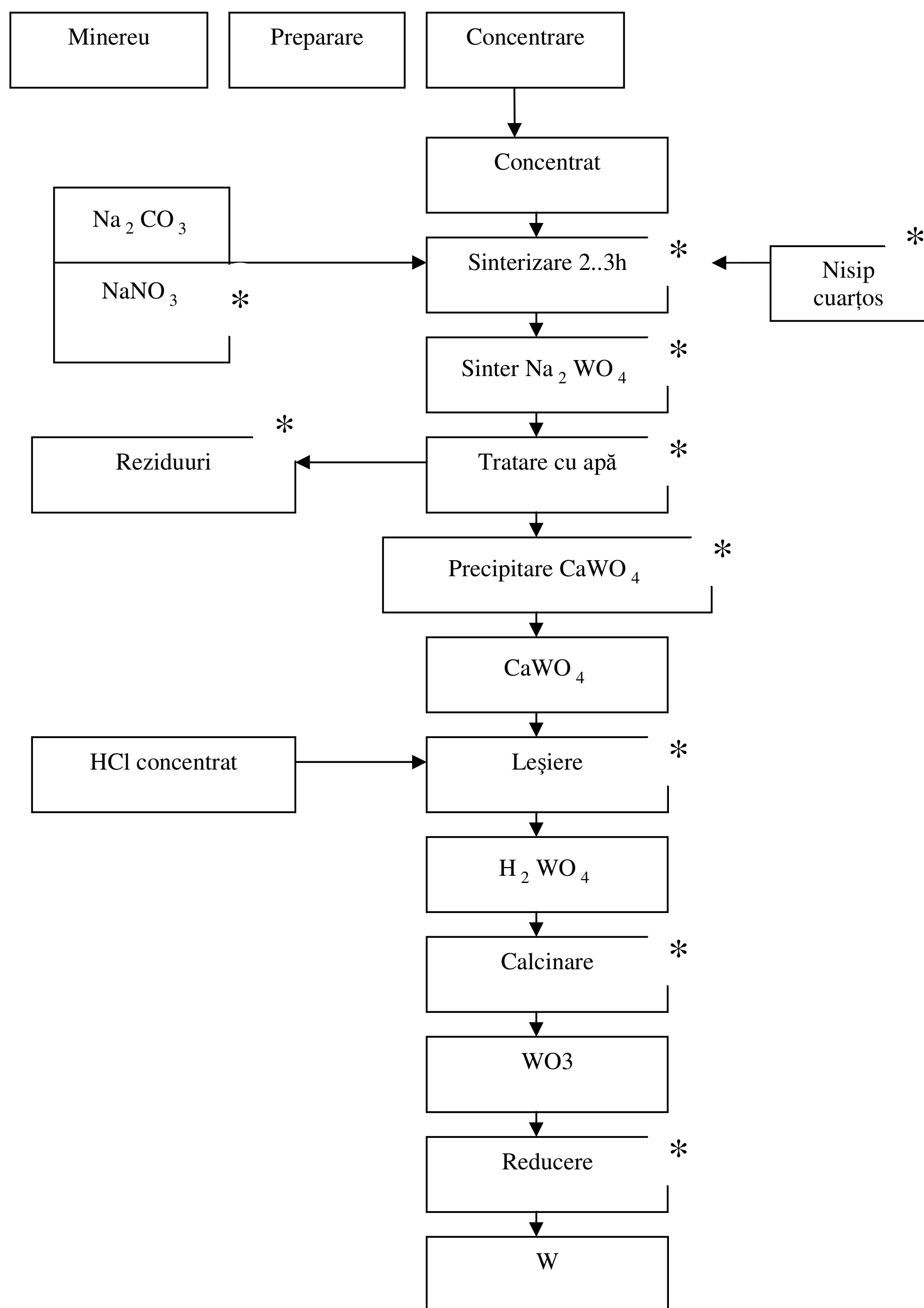


Fig 16.33. Schema de obţinere a wolframului prin sinterizare alcalină
(* - etapele şi sursele de poluare).

De exemplu, cantitatea de emisii şi subproduse poluante pentru obţinerea unei tone de oţel sunt date în tabelul 16.1. Cum producţia mondială de oţel este de aproximativ 840 Mt/an (milioane de tone pe an), ce reprezintă o cantitate totală de emisii Qte pentru siderurgia mondiala a oţelului dată de relaţia:

Qte = 840Mt oţel/an x 25 650 t emisii/ t oţel = 21 546 [Mt emisii / an] (16.2.)

Deoarece producţia românescă este de aproximativ 5Mt / an ea reprezintă o cantitate totală de emisii pentru siderurgia de oţel dată de expresia:

Qte = 5Mt oţel / an x 25 650 t emisii / t oţel = 13 [Mt emisii / an] (16.3)

Cunoscând cantitatea de emisii şi subproduse poluante pentru elaborarea unei tone de material se poate determina coeficientul de poluare aferent elaborării materialului Cpe, care intră în produs, cu relaţia:

Cpe = Qte · Qmu [t emisii] (16.4)

In care: Q te – cantitatea totală de emisii şi subproduse poluate, exprimată în Kg / t material elaborat; Q mu – cantitatea de material util.

Tabelul 16.1. **Emisii şi subproduse poluante la elaborarea unei tone de oţel [kg/t otel].**

Nr. crt.	Emisia sau subprodusul	U.M.	Cantitatea (max)
1	Praf in aer	kg / t otel	0,64
2	CO	kg / t otel	28
3	SO_2	kg / t otel	1,83
4	NOx	kg / t otel	1,35
5	CO_2	kg / t otel	2040
6	Gaze arse (altele)	kg / t otel	23 000
7	Zgură	kg / t otel	455
8	Namol	kg / t otel	58
9	Praf depus	kg / t otel	30
10	Alte depuneri	kg / t otel	8
11	Refractare	kg / t otel	4
12	Apă uzată	kg / t otel	20
13	Uleiuri	kg / t otel	0,8
TOTAL		kg / t otel	25 650

Poluanţii relevanţi pentru emisiile în aer datorită elaborării materialelor se prezintă în tabelul 16.2; pentru emisiile în apă – tabelul 16.3 şi pentru emisiile în sol, în tabelul 16.4.

De exemplu, emisiile de CO şi CO_2, în t/an la un combinat cu o producţie de 5 milioane t otel/an, cât este producţia României se prezintă în tabelul 16.5, iar emisiile de NOx, pentru un combinat siderurgic integrat se prezintă în figura 16.34.

Zonele şi etapele în care se formează NOx sunt date în figura 16.35.

Efectele poluării aerului, în timpul elaborării de materiale, asupra omului se prezintă în figura 16.36.

Emisiile de cadmiu în mediu în timpul proceselor de elaborare se dau în tabelul 16.6, iar efectele poluării toxice cu câteva metale asupra sănătaţii se dau tabelul 16.7.

Tabelul 16.2. **Poluanţii relevanţi pentru emisiile în aer.**

Nr. crt.	Poluant	Cocserie	Aglomerare	Furnale şi oţelarie	Laminare la cald	Forje	Acoperiri metalice	Turnatorie
1	CH_4	X						
2	CO	X	X	X	X	X	X	X
3	CO_2	X		X	X	X		X
4	NH_2	X						X
5	MNVOC	X	X	X				X
6	N_2O	X			X	X		
7	NOx	X	X	X	X	X	X	X
8	SOx	X	X	X	X	X	X	X
9	As si compuşii săi	X	X	X	X	X	X	X
10	Cd si compuşii săi	X	X	X	X	X	X	X
11	Cr si compuşii săi	X	X	X	X	X	X	X
12	Cu si compuşii săi	X	X	X	X	X	X	X
13	Ni si compuşii săi	X	X	X	X	X	X	X
14	Pb si compuşii săi	X	X	X	X	X	X	X
15	Zn si compuşii săi		X	X	X	X	X	
16	Hexalorobenzen (HCB)			X	X			X
17	Dioxina şi furani (PCDD+Furani)		X					
18	Benzen	X	X	X				X
19	Hidrocarburi aromatice policiclice		X	X			X	
20	Cloruri şi compuşi aromatici	X	X	X		X	X	X
21	Fluoruri şi compuşi anorganici		X	X		X		X
22	HCN	X						X
23	PM 10	X	X	X				X

MNVOC = compuşi organici volatili nemetalici

***Tabelul 16.3*. Poluanţii relevanţi pentru emisia în apă.**

Nr. Crt.	Poluant	Cocserie	Aglomerare	Furnale şi oţelărie	Laminare E T	Forje	Acoperiri	Turnătorie
1	Total azot	X		X	X			
2	Total fosfat	X		X	X			X
3	Cd si compuşii săi		X	X	X	X	X	X
4	Cr si compuşii săi		X	X	X			X
5	Cu si compuşii săi		X	X				X
6	As si compuşii săi							X
7	Hg si compuşii săi		X			X	X	
8	Ni si compuşii săi		X			X		X
9	Pb si compuşii săi		X	X	X	X	X	X
10	Zn si compuşii săi		X	X	X	X	X	X
11	Sn si compuşii săi		X	X	X	X	X	X
12	Compuşii organic halogenaţi (AOX)		X	X	X	X	X	X
13	Fenoli	X						X
14	Hidrocarburi aromatice policiclice	X	X	X	X	X	X	X
15	Carbon organic total (TOC)	X	X	X	X	X	X	X
16	Cloruri		X	X	X	X	X	X
17	Cianuri	X	X	X	X			X
18	Fluoruri		X	X	X	X	X	X

***Tabelul 16.4*. Poluanţii relevanţi pentru emisiile în sol.**

Nr. Crt.	Metale	Alte elemente	Hidrocarburi aromatice polinucleare (III)
1	Antimoniu (Sb)	Cianuri libere	Antracene
2	Argint (Ag)	Cianuri complexe	Benzoantracen
3	Arseniu (As)	Sulfocianaţi	Benzofluoranten
4	Bariu (Ba)	Fluor (F)	Benzoperilen
5	Beriliu (Be)	Brom (Br)	Benzopiren
6	Bor solubil (B)	Sulf (elementar)	Chrisen
7	Cadmiu (Cd)	Sulfuri	Fluoranten
8	Cobalt (Co)	Sulfati	Indeno (1,2,3,) piren
9	Crom (Cr) total, hexavalent	-	Naftalină
10	Cupru (Cu)	I – Hidrocarburi aromatice mononucleare	Fenantren
11	Mangan (Mn)	Benzen	Piren

Tabelul 16.4. **(Continuare)**

12	Mercur (Hg)	Etilbenzen	IV – hidrocarburi din petrol
13	Molibden (Mo)	Toluen	I – clorbenzen, clorfenoli
14	Nichel (Ni)	Xilen	II – bifenili policlorurati
15	Plumb (Pb)	-	PCB 28
16	Seleniu (Se)	Pesticide organo clorurate	PCB 52
17	Staniu (Sn)	ΣDDT	PCB 101
18	Talin (Tl)	DDT	PCB 118
19	Vanadiu (V)	DDE	PCB 138
20	Zinc (Zn)	DDD	PCB 153
21		HCH	PCB 180
22		α - HCH	III – policlordibenzen diane(PCDD)
23		β - HCH	Policlordibenzen freani (PCDF)
24		γ - HCH	
25		δ - HCH	Hidroxilibenzeni
26		II - triazinice	

Tabelul 16.5. **Emisiile de CO si CO_2 în [t/an], la un combinat cu o producție de 6 milioane de tone oțel /an.**

	Emisia de CO [t CO / an]	**[%]**	**Emisii de CO_2 [t CO_2 /an]**
Cocserie	38 400	7,8	1.200.000
Aglomerare	382 700	77,8	1.440.000
Furnal	17 500	3,5	3.000.000
Oțelarie	26 400	5,4	840.000
Refractare	2000	0,4	230.000
Reparații	2400	4,9	487.000
Transport	1000	0,2	1.500
Total	492 000	100	7.198.500

Fig 16.34. Bilanț de NOx într-un combinat siderurgic integrat.

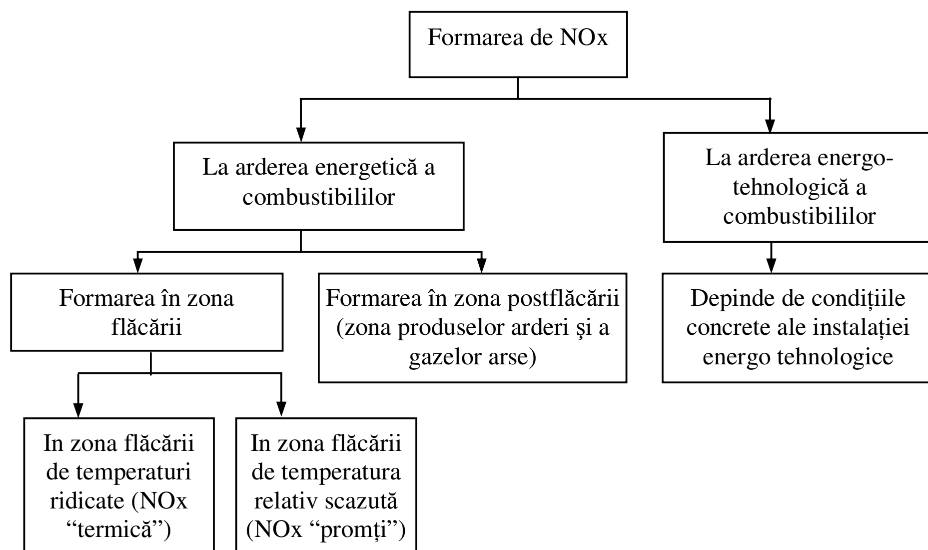


Fig 16.35 Formarea oxizilor de azot (NO*x*).

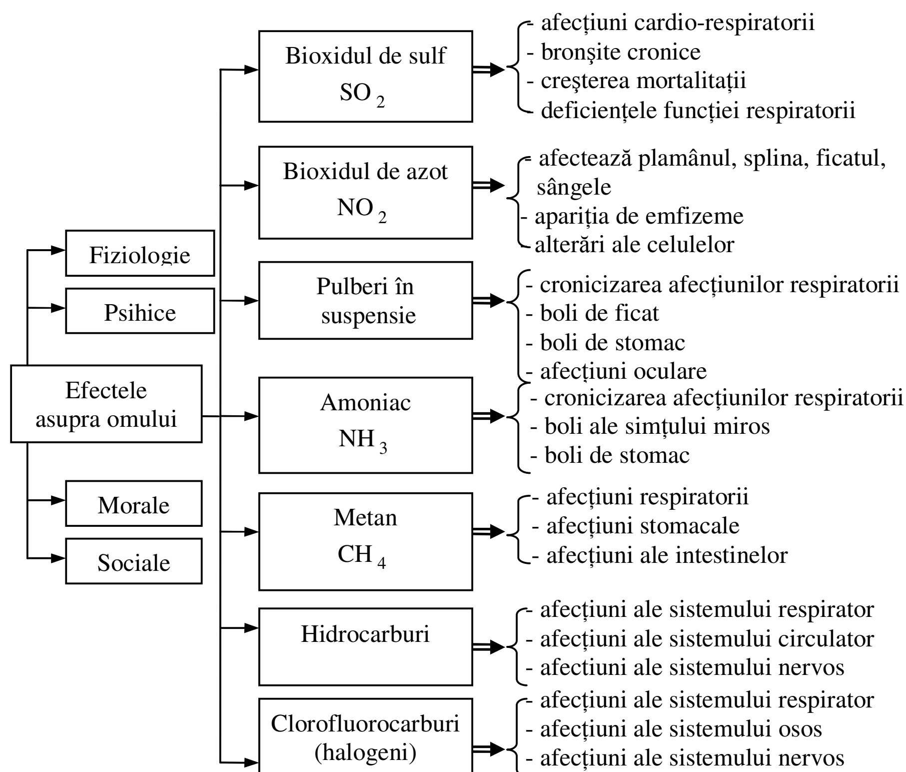


Fig 16.36. Efectele poluării aerului asupra omului.

***Tabelul 16.6*. Emisii de Cd în mediu.**

	Producția totală [mii tone]	Emisie totală [t · cadmiu]	Emisie în aer [t · cadmiu]	Emisie în ape reziduale [t · cadmiu]
Industrii producătoare şi utilizatoare de Cd				
Metalurgia Cd-Zn-Pb şi prăjirea piritei	3000 (Zn + Pb)	351	30	112
Industria utilizatoare de Cd	4565	81	5	21
Industria neutilizatoare de Cd				
Cărbune de pământ	239000	400	60	-
Lignit	34000	86	15	-
Petrol	282000	5	5	-
Fontă	89000	290..390	89..300	-
Oțel	126000	460..600	130..200	-
Zgură Thomas	800(P_2O_5)	(37) 1770	370	-
Fosfați	12400	270	Urme	
Metalurgia Cu	970	20	5	-
Deşeuri				
Gunoaie comunale	8800	800..900	30	-
Nămoluri biologice	5000	70..900	30	-
Gunoaie industriale	140000	150..250	-	-
Industria extractivă	Foarte mult	-	60..140	-
Cuptoare vechi de prăjire (Zn-Pb)	-	20..30	-	20..30

Infestarea organismului cu Cd se face prin intermediul alimentelor, apei potabile şi aerului. Doza asimilată de organism este de 1,9717..5,235 μ g/ locuitor zonă industrială. Spre comparare – fumarea a 10 țigari / zi ridică doza cu 0,7 μ g Cd, astfel că la 50..60 ani, organismul fumătorului este de 2..4 ori mai infectat decât al nefumătorului.

***Tabelul 16.7*. Efectele poluării toxice cu metale.**

Nr. crt.	Poluant	Efectele principale asupra sănătații
1	As	Forme de cancer, boli de piele, efecte hematologice, anemie
2	Cd	Disfuncții cronice respiratorii, afecțiuni renale, formațiuni infecțioase (chiar maligne)
3	Cr	Forme de cancer, dermatite, formațiuni infecțioase stomacale
4	Pb	Afectarea sistemelor hematologice şi sistemului nervos, vătămarea ficatului

***Tabelul 16.7.* (Continuare)**

5	Hg	Acţiune toxică asupra sistemului nervos, inclusiv crize de pierdere a cunoştinţei, deteriorarea funcţiilor senzoriale, insuficienţa hepatică
6	Ni	Îmbolnăviri respiratorii, inclusiv astmă, atacarea sistemului nervos, insuficienţe congenitale şi de creştere
7	V	Afectarea sistemului respirator, inclusiv astmă, atacarea sistemului nervos, schimbarea compoziţiei sângelui

3 ° Alegerea semifabricatului iniţial – se face în funcţie de: configuraţia geometrică; greutatea şi dimensiunile de gabarit ale produsului; volumul de producţie; posibilitaţile de mecanizare, automatizare şi robotizare; natura materialului cu proprietaţi tehnologice şi economice ale acestuia; precizia geometrică impusă de rolul funcţional; gradul de netezime al suprafeţelor; utilajele necesare existente sau posibil de procurat.

Cele mai des întâlnite semifabricate sunt cele obţinute *prin deformare plastică la cald* (laminare, tragere, extrudare, forjare liberă, forjare în matriţă, ambutisare, îndoire etc). Dacă semifabricatul ales este obţinut prin deformare plastică la cald, sursele de poluare care trebuie luate în considerare se vad în figura 16.37.Şi aici se constată că are loc o poluare intensă atât a aerului cât şi a apei şi a solului. Dacă semifabricatul ales este obţinut prin deformare plastică la rece (laminare, extrudare, tragere, trefilare, forjare liberă, forjare în matriţă, îndoire, refulare, ambutisare, fasonare etc) atunci sursele de poluare sunt cele prezentate în fig 16.38. şi aici se observă o însemnată poluare a atmosferei, apei si solului. De exemplu, emisia globala de CO_2 pentru o tonă de laminat obţinută într-un combinat metalurgic integrat se prezintă în tabelul 16.8., iar unele surse cancerigene sunt reprezentate de emisiile date de cuptoarele de încalzire (în tabelul 16.9. sunt date emisiile de ben(a)-pirena, în t / an, ca principală sursă cancerigenă).

***Tabelul 16.8.* Emisia globala de CO_2 [kg CO_2 / t laminat]**

Flux tehnologic	Furnal+LD (inclusiv cocserie)	Corex + reducere directa + CAE	Fier vechi + CAE
Emisie directă, kg CO_2 / t	1900	1400	140
Emisie indirectă	100	770	520
Emisie totală	2000	2170	660

***Tabelul 16.9.* Cantitatea de ben(a) – pirenă emisă într-un combinat integrat [t/an]**

Sursa de emisie	Cantitate [t/an]	Cantitate [%]
Uzina cocso-chimica	0,770	7,22
Aglomerare	0,040	3,70
Furnal	0,002	0,20
Oţelarie	0,187	17,50
Laminoare	0,041	3,80
Refractare si var	0,003	0,30
Reparaţii caje laminare	0,003	0,30
Centrala termo-electrica	0,021	2,00
Total	1,067	100%

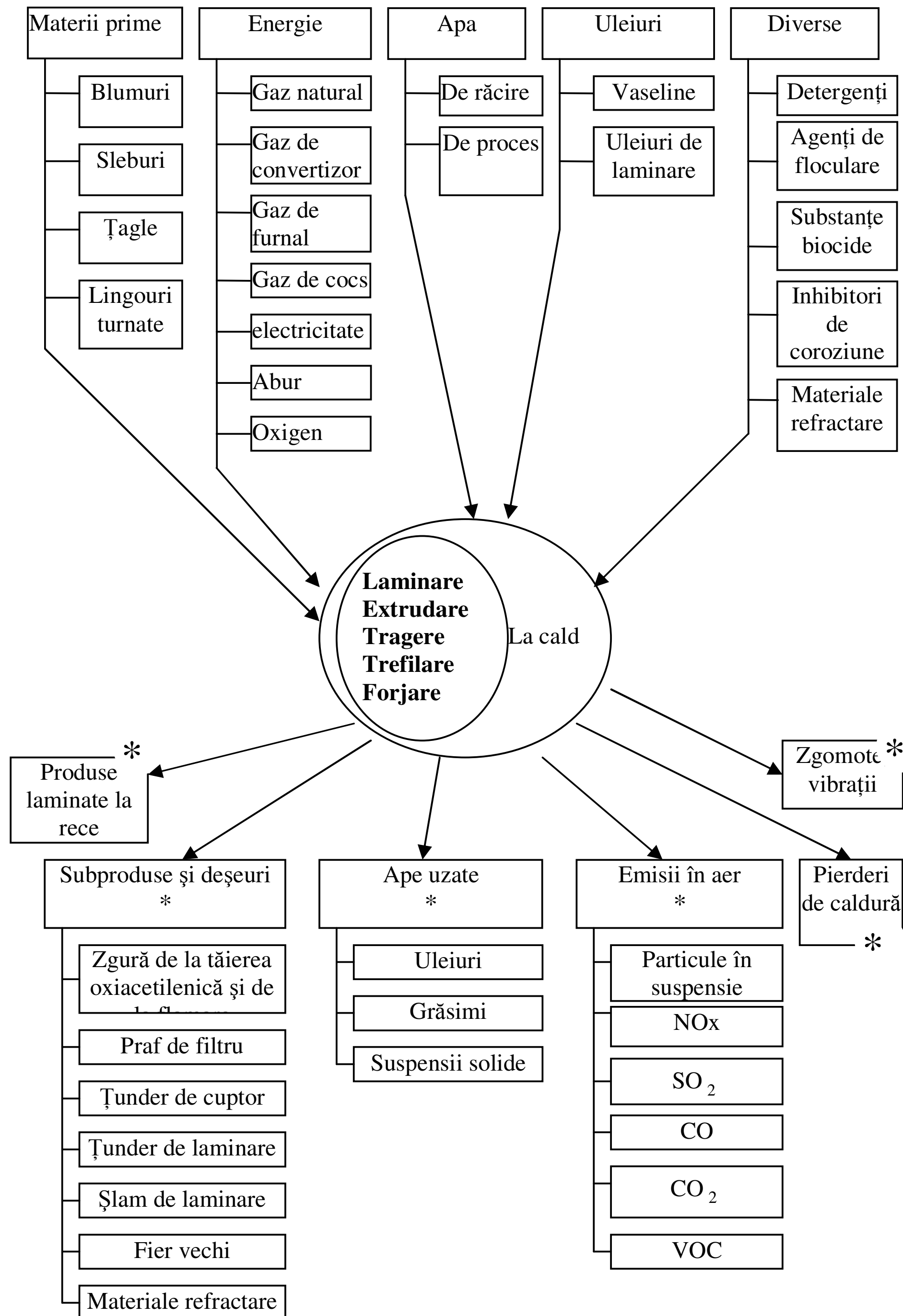


Fig 16.37. Procedeele de deformare plastică la cald şi sursele de poluare (* - etapele şi sursele de poluare).

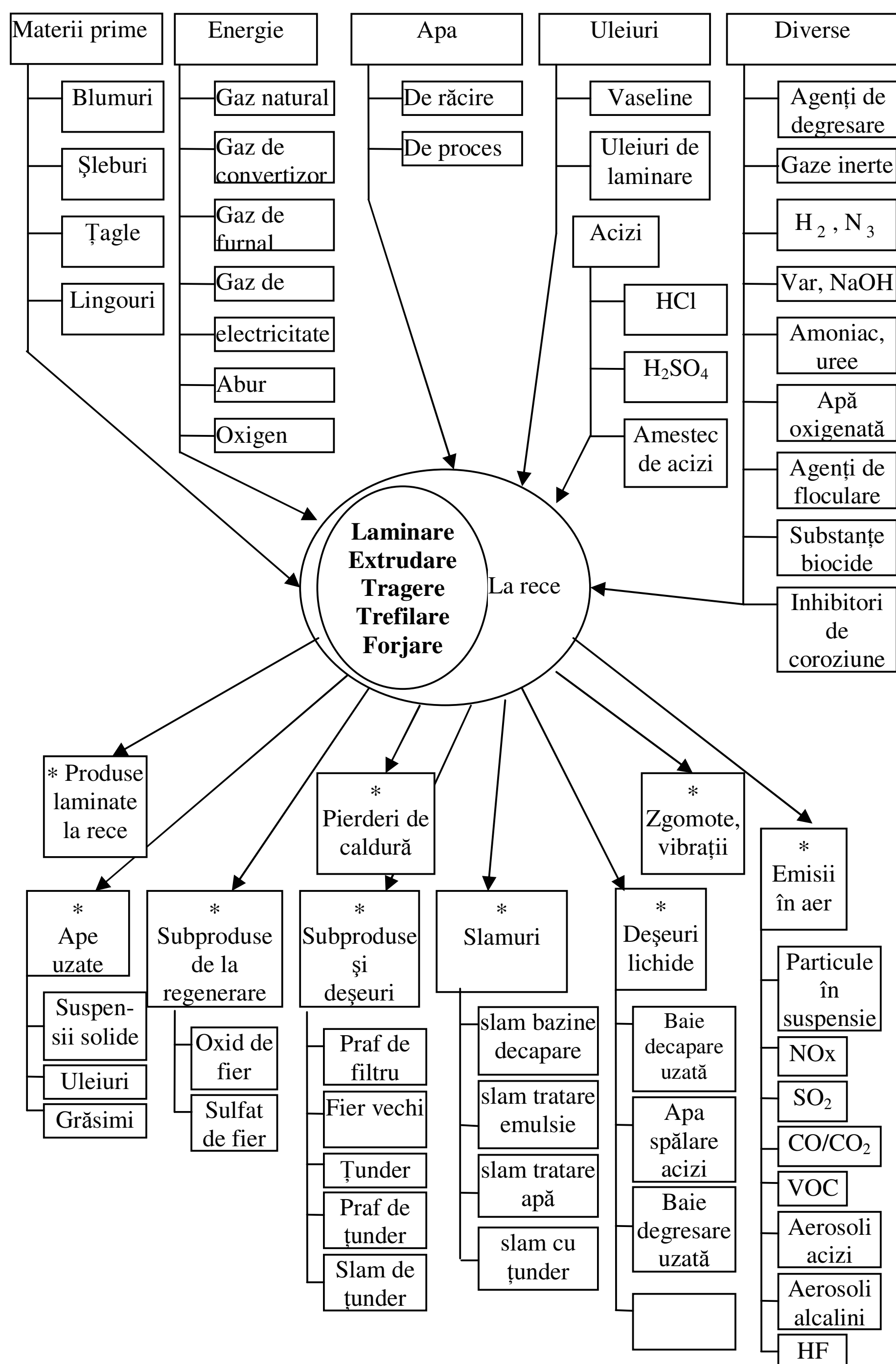


Fig 16.38. Procese de deformare plastică la rece şi sursele de poluare (* - etapele şi sursele de poluare).

Piesele cu configurație geometrică complexă care nu sunt supuse la solicitări mari în exploatare se execută de regulă din semifabricate turnate din fontă, iar piesele cu configurație geometrică complexă, care lucrează în condiții de exploatare grele şi suportă solicitări mari se executa din semifabricate turnate din oțeluri. Principalele etape şi surse de poluare în cazul obținerii unui semifabricat turnat în forme temporare din amestec de formare obişnuit (cel mai des intâlnit) se prezintă în figura 16.39.

Fiecare din etapele în care există asterisc poluează aerul, apa şi solul mai mult sau mai puțin, în funcție de tehnologia de realizare a etapei. De exemplu, prepararea amestecului de formare sau de miez introduce urmatoarele surse de poluare (fig. 16.40).

Piesele care nu au o configurație complexă şi necesită un anumit fibraj, sub aspectul continuitații, omogenitații şi solicitarilor se recomandă a se executa din semifabricate forjate sau matrițate (cele matrițate se folosesc pentru producția de serie mare sau masa).

Piesele de dimensiuni medi sau mari, de configuratie complexă, în producție de serie mică sau unicate se recomandă a fi executate din semifabricatele forjate sau turnate folosind asamblarea prin sudare.

Asamblarea prin sudare este un procedeu tehnologic puternic poluant mai ales al atmosferei si al solului. De exemplu, realizarea unor piese prin sudarea manuală cu arc electric cu electrod învelit presupune urmatoarele etape tehnologice şi surse de poluare (fig 16.41).

Formarea de CO în procesul de sudare are loc mai ales la arderea învelişului electrozilor şi a fluxurilor folosite, după urmatoarele reacții:

- la temperaturi mai mari de 570℃:



$$6\,Fe_2O_3 + 2C = 4\,Fe_3O_4 + 2CO\uparrow \quad (16.6)$$



$$2\,Fe_3O_4 + 2C = 6\,FeO + 2CO\uparrow \quad (16.7)$$



$$2\,FeO + 2C = 2\,Fe + 2CO\uparrow \quad (16.8)$$



$$SiO_2 + 2C = Si + 2CO\uparrow \quad (16.9)$$

- la temperaturi mai mici de 570℃:



$$6\,Fe_2O_3 + 2C = 4\,Fe_3O_4 + 2CO\uparrow \quad (16.10)$$



$$\frac{1}{2}Fe_3O_4 + 2C = \frac{3}{2}Fe + 2CO\uparrow \quad (16.11)$$



$$CO_2 + C = 2CO\uparrow \quad (16.12)$$



$$2\,MnO + 2C = 2Mn + 2CO\uparrow \quad (16.13)$$

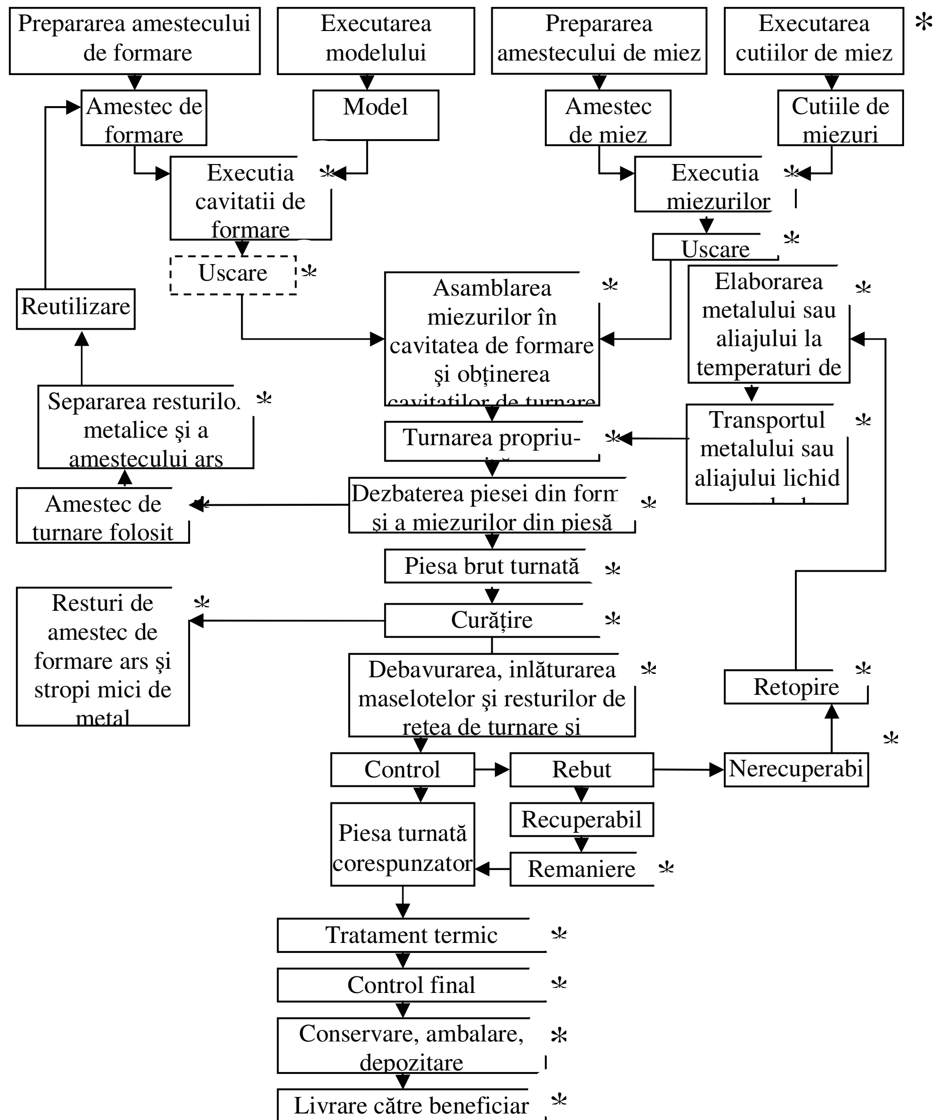


Fig 16.39. Schema de principiu a procesului tehnologic de turnare în forme temporare din amestec de formare obişnuit şi sursele de poluare (* - etapele şi sursele de poluare).

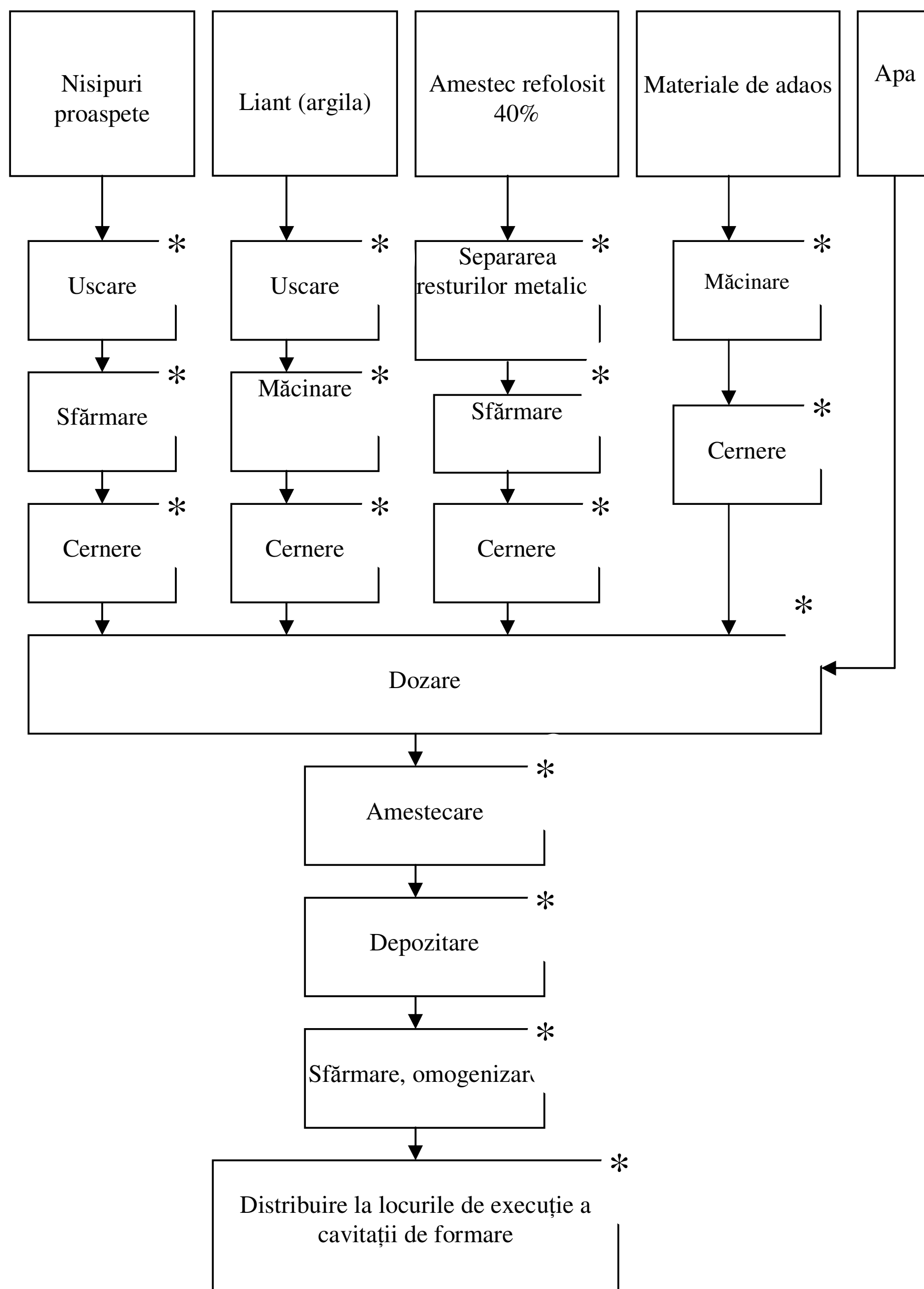


Fig 16.40. Schema preparării amestecului de formare obişnuit şi sursele de poluare (* - etapele şi sursele de poluare).

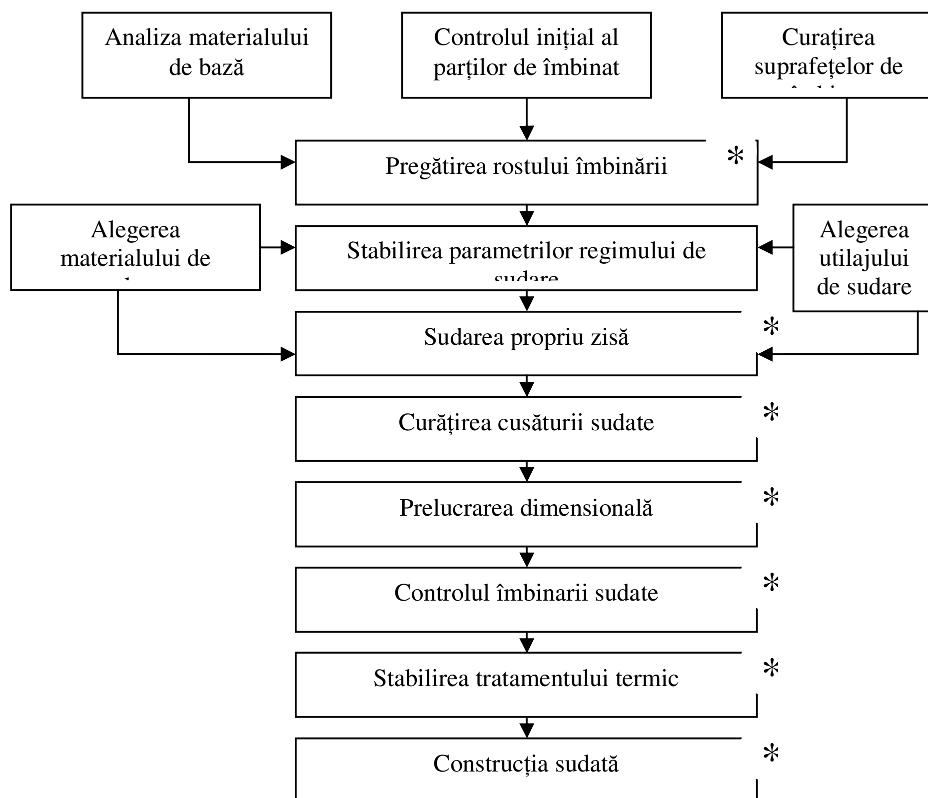


Fig 16.41. Procesul tehnologic de sudare şi etapele în care apare poluarea mediului
(* - etapele şi sursele de poluare).

Formarea de CO_2 în procesele de sudare are loc mai ales la formarea băii de sudură în urma topirii materialului de adaos şi a materialului de bază, după urmatoarele reacții:

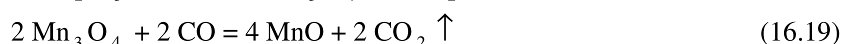

$$C + O_2 = CO_2 \uparrow \quad (16.14)$$


$$2\,H_2O + C = CO_2 \uparrow + H_2 \uparrow \quad (16.15)$$


$$2\,FeO + 2\,CO = 2\,Fe + 2\,CO_2 \uparrow \quad (16.16)$$


$$4\,MnO_2 + 2\,CO = 2\,Mn_2O_3 + 2\,CO_2 \uparrow \quad (16.17)$$


$$6\,Mn_2O_3 + 2\,CO = 4\,Mn_3O_4 + 2\,CO_2 \uparrow \quad (16.18)$$


$$2\,Mn_3O_4 + 2\,CO = 4\,MnO + 2\,CO_2 \uparrow \quad (16.19)$$


$$CO + \frac{1}{2}\,O_2 = CO_2 \uparrow \quad (16.20)$$

Cateva valori ale emisiilor de CO_2 se prezintă în tabelul 16.9.

***Tabelul 16.9*. Emisiile de CO_2 , la cateva procedee de sudare**

Procedeul	Emisiile de CO_2 [t CO_2 / t cusătură sudată]	
	minim	maxim
Sudarea manuală cu arc electric	0,280	0,50
Sudarea automată sub strat de flux	0,175	0,21
Sudarea în mediu protector de gaze	0,205	0,24
Sudarea cu falcară oxigaz	0,312	0,55

Formarea de NO_x are loc la formarea băii de sudură şi la turnare după urmatoarele reacţii:


$$NCO + O \rightarrow NO\uparrow + CO\uparrow \quad (16.22)$$

$$N_2 + O \rightarrow NO\uparrow + N \quad (16.23)$$

$$O_2 + N \rightarrow NO\uparrow + O\uparrow \quad (16.24)$$

$$N + OH \rightarrow NO\uparrow + H\uparrow \quad (16.25)$$

$$4NH_3 + 5O_2 \rightarrow 4NO\uparrow + 6H_2O\uparrow \quad (16.26)$$

$$N_2 + O_2 \rightarrow 2NO\uparrow \quad (16.27)$$

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2\uparrow \quad (16.28)$$

$$O_3 + NO_2 \rightarrow NO_3\uparrow + O_2\uparrow \quad (16.29)$$

$$NO_3 + NO_2 \rightarrow N_2O_5\uparrow \quad (16.30)$$

Un bilanţ al formării de NO_x se prezinta în tabelul 16.10.

***Tabelul 16.10.* Emisii de NOx, la câteva procedee tehnologice, în gNOx/t oţel.**

Sectia	**gNO_x/t_{otel}**
Aglomerare (Preparare)	1064
Cocserie	441
Furnal	30
Oţelarie	22
Laminare	166
Turnare	110
Sudare	154

Formarea de compuşi ai Sulfului are loc atât în procesul de turnare şi sudare dar şi în secţiile de deformare plastică, după reacţiile:


$$S + O_2 \rightarrow SO\uparrow + O\uparrow \quad (16.31)$$

$$SO + O_2 \rightarrow SO_2\uparrow + O\uparrow \quad (16.32)$$

$$SO_2 + O_2 \rightarrow SO_3\uparrow + O\uparrow \quad (16.33)$$

$$SO_2 + O_2 \rightarrow SO_4\uparrow \quad (16.34)$$

$$SO_4 + O_2 \rightarrow SO_3\uparrow + O_3\uparrow \quad (16.35)$$

$$H_2S + O_2 \rightarrow H_2O\uparrow + SO_2\uparrow \quad (16.36)$$

Cei mai răspândiţi compuşi ai sulfului evacuate în atmosferă sunt: dioxidul de sulf (SO_2); carbonilsulfura (COS); sulfura de carbon (CS_2); sulfura de hidrogen

(H_2S) şi dimetilsulfura ($(CH_3)_2S$)

Câteva valori ale emisiilor de SO_2 se prezinta în tabelul 16.11.

***Tabelul 16.11.* Valori ale emisiilor de SO_2, în Kg/t produs**

Sectia	**Emisia de SO_2 [kg SO_2/t produs]**
Preparare	0,64
Cocserie	1,06
Furnal	0,11
Cuptor LD elaborare oţel	0,02
Cuptor electric elaborare oţel	0,03
Laminare	0,16
Turnare	0,22
Sudare	0,13

Cunoscând semifabricatul folosit pentru realizarea produsului se poate calcula coeficientul de poluare introdus de semifabricat C_{ps}, cu relaţia:

$$C_{ps} = Q_{ts} \cdot M_{su} = (Q_{sa} + Q_{sl} + Q_{ss})M_{su} \text{ [tone emisii]} \quad (16.37')$$

în care: Q_{ts} este cantitatea totală de substanţă poluantă introdusă de semifabricat; Q_{sa} – cantitatea de substanţă ce poluează aerul la elaborarea semifabricatului; Q_{sl} – cantitatea de substanţă ce poluează apa la elaborarea semifabricatelor; Q_{ss} – cantitatea de substanţă ce poluează solul la elaborarea semifabricatelor; M_{su} – masa utilă a semifabricatului, în tone; $Q_{sa} + Q_{sl} + Q_{ss}$ se exprimă în tone emisii /tonă de semifabricat util.

Tot în etapa de elaborare materiale şi elaborare semifabricat apare o poluare accentuată a apelor de către poluanţii metalurgici prezenţi în mediul apos aflat circumscris conturului tehnologic. Cei mai importanţi factori poluanţi sunt:

- **apariţia ceţii**, constituie un proces important, aflat în zona mecanismelor de poluare a mediului tehnologico-hidraulic. Concentraţiile în apă lichidă într-o ceaţa este de 10^{-4}l de apă pe m^3 aer, în timp ce concentraţiile de ioni şi de acizi este de 10…50 ori mai mari decat la apele din ploi. Picăturile de ceaţă se formează practic prin condensarea umidităţii pe nuclee de condensare răspandite de particule solide şi aerosoli. Ceaţa provoacă creşterea concentraţiei poluanţilor;

- naşterea aerosolilor este un fenomen poluant în mediul apos existent în interiorul sau în afara conturului tehnologic. Aerosolii reprezintă conglomerate în sisteme lichid-solid sau solid-solid dispersate într-un mediu gazos, format prin: *coalescenţă,* în cazul particulelor fine, şi *coagulare* în cazul particulelor grosiere. Aerosolii pot conţine pe langă poluanţii gazoşi o cantitate importanta de compuşi atmosferici care în final se depun sub formă de depozite umede sau uscate pe suprafaţa pământului. Dimensiunile particulelor sunt cuprinse între 0,01…100µm. Distribuţia schematică a aerosolilor se prezintă în figura 16.42.. Compuşii acizi si neutri (sulfati de amoniu, nitrati de amoniu) sunt prezenţi in aerosolii fini, în timp ce aerosolii de dimensiuni mai mari sunt în general alcalini, fini, formaţi din particule provenite din sol şi din cenuşi. În aerosoli sunt susţinute metalele grele, numeroşi compuşi organici, hidrocarburi policiclice aromate şi alţi compuşi toxici, cum ar fi nitrofenolii.

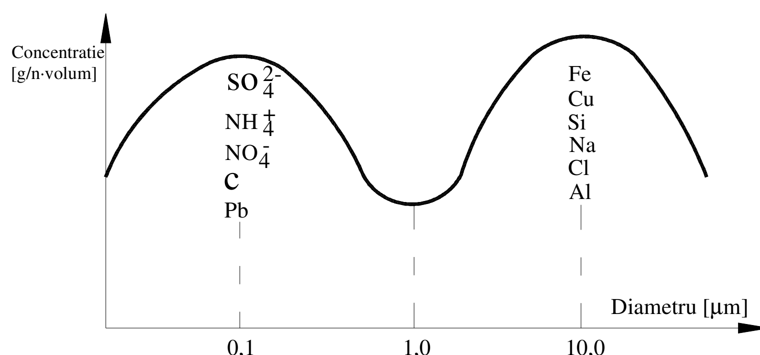


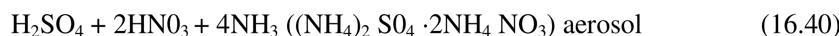
Fig. 16. 42. Distribuția schematică a aerosolilor.

Racții de formare aerosoli


$$H_2SO_4 + 2NH_3 \leftrightarrow ((NH_4)_2\ S0_4) \quad \text{aerosol} \qquad (16.37)$$


$$H_2SO_4 + NH_3 \leftrightarrow (NH_4)_2\ HS0_4) \quad \text{aerosol} \qquad (16.38)$$


$$HNO_3 + NH_3 \leftrightarrow (NH_4Cl) \quad \text{aerosol} \qquad (16.39)$$


$$H_2SO_4 + 2HN0_3 + 4NH_3\ ((NH_4)_2\ S0_4 \cdot 2NH_4\ NO_3)\ \text{aerosol} \qquad (16.40)$$


$$H_2\ SO_4 \leftrightarrow (H_2SO_4) \quad \text{aerosol} \qquad (16.41)$$


$$((NH_4)_2\ SO_4 \cdot NH_4N0_3)_{\text{aerosol}} \leftrightarrow ((NH_4)_2\ SO_4)_{\text{aerosol}} + 2HNO_3 + 2NH_3 \qquad (16.42)$$

- **formarea smogului.** Smogul este caz particular de aerosoli. Exista două tipuri de smog:

- *smog de tip londonez* (arderea cărbunilor şi a păcurii) – o negura densă cu impuritați particulate de funingine şi SO_2;

- *smog de tip Los Angeles,* care determină o iritare intensa a căilor respiratorii şi a ochilor, accelerează coroziunea metalelor şi distrugerea clădirilor. Este datorat prezenței ozonului şi peroxinitraților.

4° Curațirea, decaparea, degresarea sunt etape foarte importante în proiectarea şi realizarea oricăror produse deoarece înainte de oricare operație tehnologică pretențioasa trebuie executată curățirea, decaparea şi degresarea suprafețelor. Sunt foarte multe situații când curățirea se face prin diferite metode: clasice manuale (ciocăniri, şpăcluiri); mecanizate (pick-hammer, perii de sarma, sablare-alicare); speciale (curățirea chimică, electrochimică, prin vibrare, cu plasma, cu laser, cu ultrasunete, cu flacară şi material abraziv, termică, electrochimică, cu jet de apă, cu flăcări etc.). Fiecare din aceste metode are un impact mai mare sau mai mic asupra mediului, în funcție de metodele folosite şi de operațiile tehnologice viitoare, pentru că există o mare diferență între curățirea suprafețelor în vederea sudării şi curățirea suprafețelor în vederea acoperirilor de protecție, sau între curățirea suprafețelor pieselor turnate după dezbatere şi curățirea suprafețelor instrumentelor medicale. Spre înțelegerea complexitații problemei, în figura 16.43. se prezintă etapele şi sursele de poluare la decaparea cu acid clorhidric, iar în figura 16.44 etapele şi sursele de poluare la decaparea cu acid

sulfuric.

În funcție de modul cu se face aceasta operație de curațire, decapare şi degresare se poate calcula coeficientul de poluare C_{pcd}, introdus de această operatie cu relația:

$$C_{pcd} = Q_{ptc} \cdot M_u = (Q_{pca} + Q_{pcl} + Q_{pcs}) \cdot M_u \text{ [t emisii]} \quad (16.43)$$

în care: Q_{ptc} este cantitatea totală de substanța poluantă ce apare în operația de curățire, decapare, degresare; Q_{pca} - cantitatea de substanța poluantă a atmosferei ce apare la curățire, decapare, degresare; Q_{pcl} – cantitatea de substanță poluantă a apei ce apare în operația de curățire, decapare, degresare; Q_{pcs} – cantitatea de substanță poluantă a solului ce apare în operația de curățire, decapare, degresare; M_u – masa utilă a semifabricatului sau a piesei – semifabricat.

5^o^ Prelucrarile mecanice sunt operații foarte importante la care sunt supuse semifabricatele turnate, deformate plastic sau sudate, în urma cărora se obțin dimensiunile finale şi precizia geometrică cerută de rolul funcțional.

Aceste prelucrări se fac pentru a obține anumită precizie de formă şi de poziție şi o anumită rugozitate pentru fiecare suprafată ce mărgineşte piesa în spațiu. Principalele operații de prelucrari mecanice prin aşchiere sunt: strunjirea, rabotarea, mortezarea, frezarea, găurirea, lărgirea, adâncirea, alezarea, teşirea, lamarea, tarodarea, broşarea, rectificarea, honuirea, lepuirea, supranetezirea, şi rodarea.

Fiecare operație se executa pe echipamente tehnologice specifice, cu SDV-uri corespunzatoare şi în anumite secții de lucru (anumiți parametrii ai procesului, folosind anumite substanțe şi emulsii de răciere sau accelerare a procesului de aşchiere, dezvoltându-se anumite temperaturi). În cadrul acestor operații apar o serie de substanțe care poluează aerul, apa sau solul într-o măsură mai mare sau mai mică, aceasta depinzand de condițiile în care se desfaşoara procesul de aşchiere. De exemplu, în cazul prelucrării prin aşchiere apar o serie de *compuşi organici volatili* (COV) asa cum se vede în tabelul 16.12, care pot avea efecte directe asupra sănătății şi asupra mediului, prin nocivitatea intrinsecă şi unele proprietați fizico-chimice, sau indirecte, prin degradarea aerului (poluarea fotochimică şi efectul de seră).

Valorile maxime ce nu pot fi depăsite, pentru apărarea sănătății populației şi care țin seama şi de subiecții cu risc ridicat (copii, insuficiente respiratorii, persoane în vârstă) sunt prezentate în tabelul 16.13.

În procesul de prelucrări mecanice mai apar vapori şi picături datorită utilizării emulsiilor de diferite categorii. În general, termenul de vapori se referă la picături de lichid de mărime microscopică (sub $10\,\mu m$). Dacă diametrul este mai mare de 10 se consideră că este cu aerosol pulverizat sau pur si simplu picături. Aceste picături se formează langă bule care explodează, langă pulverizatoare, dar mai ales langă distribuitoarele care stropesc cu emulsie.

Cunoscând aceste elemente se poate determina coeficientul de poluare introdus de prelucrările mecanice C_{pm}, care se poate calcula cu relația:

$$C_{pm} = Q_{tpm} \cdot M_u = (Q_{pma} + Q_{pml} + Q_{pms}) M_u \quad \text{[t emisii]} \quad (16.44)$$

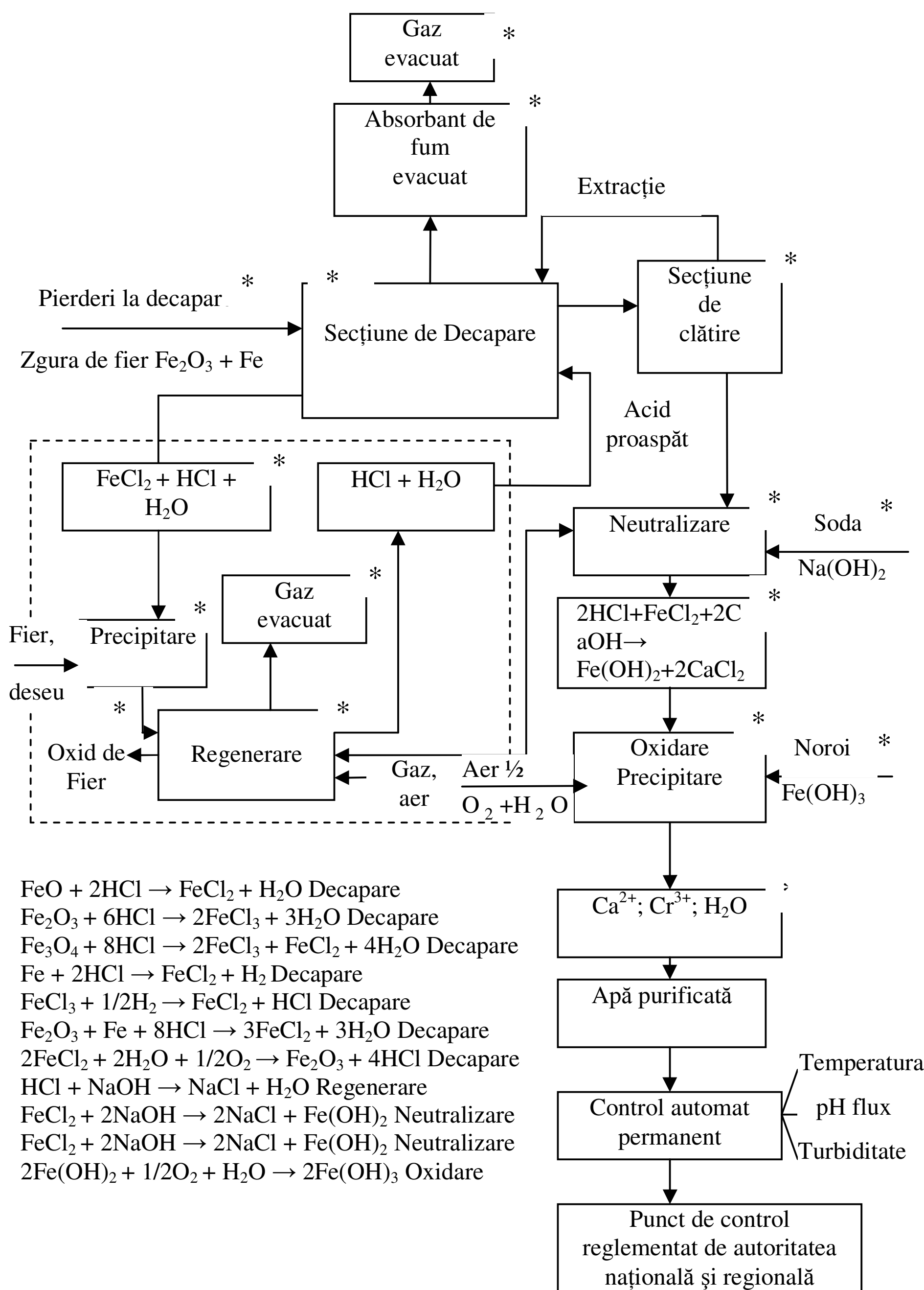


Fig. 16.43. Decaparea cu HCl și sursele de poluare; (* - etapele și sursa de poluare).

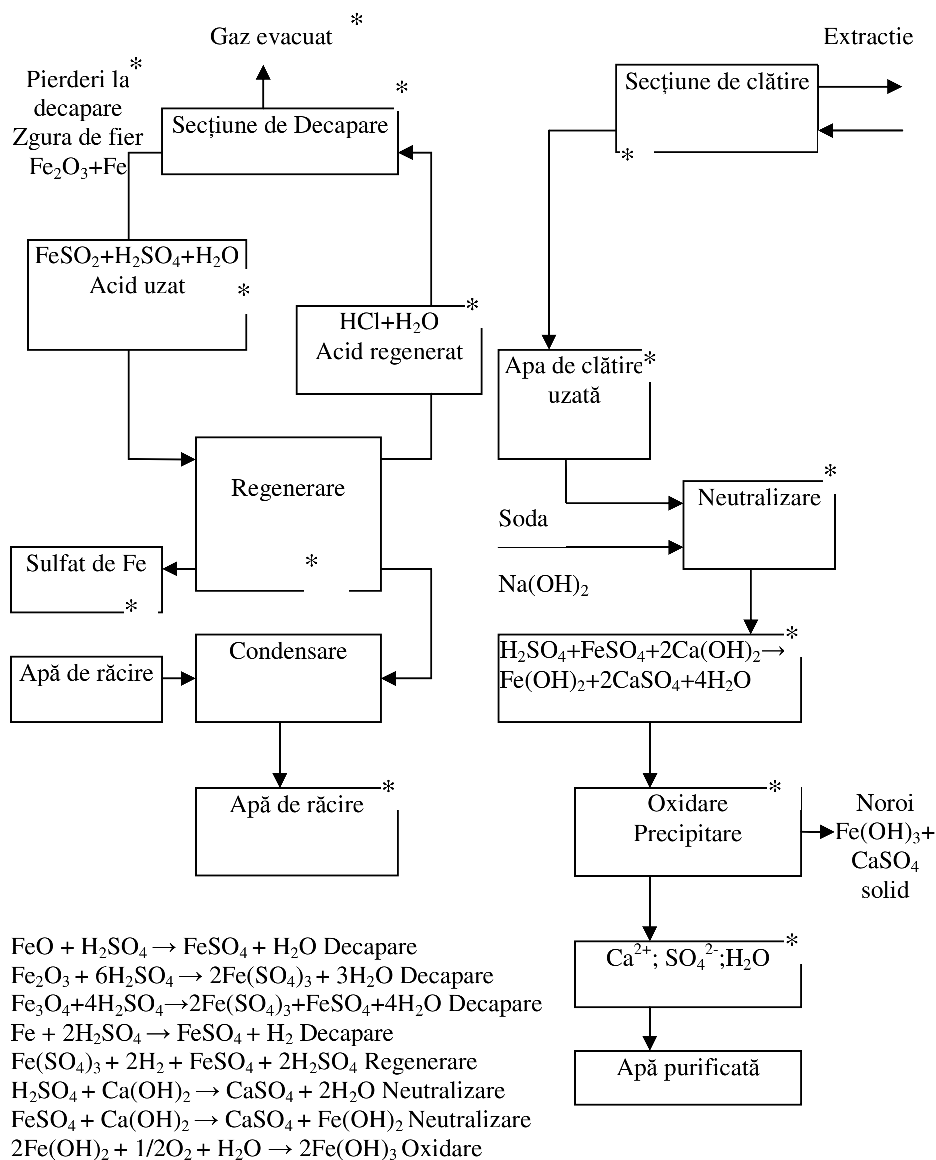


Fig. 16.44. Decaparea cu H_2SO_4 s şi sursele de poluare(* - etapele şi sursa de poluare).

Tabelul 16.12. **Compuşi organici volatili (COV) care apar la prelucrările prin aşchiere.**

Compuşi cloruraţi	Componenţi cu azot	Compuşi sulfuraţi	Compuşi aromatici	Compuşi cu metale grele
Acid cloracetic	Nitrobenzen	Tioli, tioetan	Acroleină	Compuşi alchilaţi cu Pb
Cloracetaldehida	Nitrocresol		Bifenil, cresol	
½ Clormetan	Nitrofenol		Toluen	
Clortoluen, C8	Nitrotoluen		Diizocianat	
Cloretilen, 2/3C8			2 furaldehidă	
4 – clor etan			Fenol piridină	
¾ cloretilena			0-toluidină	
CCl_4			Xilenol	
Alţi compuşi	Acetaldehidă, acid acrilic, acid formic, metilacrilat, anilină, dietilenamină, 1,4 – dioxină, etilenamină, metilcrilaţi, metilamină			

Tabelul 16.13. **Valorile maxime de substanţe cu risc de iritare mucoase respiratorii.**

Compuşi	Valori maxime date de OMS	Durata de expunere
1-2 dicloretan	0,7 mg/m^3	24 h
Dicloretan	3mg/ m^3	24 h
Formaldehidă	100µg/ m^3	30 minute
Stiren	800µg/ m^3	24 h
Tetracloretilenă	5µg/ m^3	24 h
Toluen	8µg/ m^3	24 h
Tricloretilenă	11µg/ m^3	24 h

în care: Q_{tpm} este cantitatea totală de substanţa poluantă ce apare la prelucrările mecanice, în t emisii/t de produs;

Q_{pma} - cantitatea de substanţa poluantă a aerului ce apare la prelucrările mecanice, în t emisii/t de produs;

Q_{pml} - cantitatea de substanţa poluantă a apei ce apare la prelucrările mecanice, în t emisii/t de produs;

Q_{pms} - cantitatea de substanţa poluantă a solului ce apare la prelucrările mecanice, în t emisii/t de produs;

M_u – catitatea de substanţă utilă folosită la realizarea produsului, în tone.

6° *Acoperirile de protecţie* sunt acele operaţii prin care pe suprafeţele pieselor se depune un strat foarte fin de anumite substanţe având drept scop creşterea rezistenţei la coroziune a produsului. Sunt mai multe tipuri de coroziuni ce conduc la degradarea proceselor sau produselor, astfel: coroziunea uniformă (generalizată), coroziunea galvanică, coroziunea în crevaşa (interstiţială), coroziunea în pitting,

coroziunea intercristalină, coroziunea selectivă, coroziunea prin eroziune, coroziunea propriu-zisă, coraziunea prin fricțiune, coroziunea fisurantă etc. Deteriorarea şi degradarea produselor pot fi prevenite prin tratamente de condiționare, prin lucrări de întreținere curentă, prin inspecții şi evaluări periodice urmate de intervenții precise. Această protecție se poate face prin: tratamentele de suprafața; tratamentele termice; acoperirile de protecție şi anumite tehnologii speciale. Cea mai des întalnită metodă este *metalizarea*, care are foarte multe utilizări (tabelul 16.14). În cadrul acestor metalizări apar o serie de factori poluanti atât pentru aer, cât şi pentru apă şi sol.

Tabelul 16.14. **Câteva scheme de metalizare.**

Denumirea	**Schema de principiu**	**Utilizări**
Metalizări din baie galvanică	+ - strat piesa anod de sacrificiu	Cromare dură; Liant galvanic pentru scule diamantate; Cromare; Nichelare; Argintare; Aurire; Cadmiere; Cuprare; Zincare.
Metalizări prin deformare plastică – placări	strat material de bază	Placarea prin laminare; Placarea prin extrudare; Placarea prin explozie; Placarea prin tragere.
Placarea prin lipire cu adezivi	strat adeziv material de bază	Folii placate pentru electrotehnică; Folii pentru ambalaje; Restaurarea monumentelor şi a obiectelor de artă
Metalizări prin sinterizare	cuptor strat piesa	Scule aşchietoare acoperite cu carburi cu liant de cobalt; Scule diamantate cu liant de cupru

Tabelul 16.14. **(Continuare)**

Metalizări prin imersie	strat piesa topitură cuvă	Metalizări prin cufundare – zincarea la cald; Metalizări prin turnare; Metalizări prin turnare centrifugală.

Procesul de galvanizare şi sursele de poluare sunt prezentate în figura 8.45.

Cunoscând modul cum se face acoperirea de protecţie se cunosc şi factorii cu impact asupra mediului, prin urmare se poate determina coeficientul de poluare introdus de acoperirea de protecţie C *pap* , cu relaţia:

$$C_{pap} = Q_{pt} \cdot M_n = (Q_{papa} + Q_{papl} + Q_{paps})M_n \qquad \text{[t emisii]} \qquad (16.45)$$

în care: Q_{pt} - cantitatea totală de substanţa poluantă; Q_{papa} - cantitatea de substanţa poluantă introdusă în aer în cadrul operaţiei de acoperire de protecţie; Q_{papl} - cantitatea de substanţa poluantă a apei introdusă în apa în cadrul operaţiei de acoperire de protecţie; M_n - masa utilă a piesei.

7° *Tratamentele termice* sunt operaţii tehnologice la care se supune orice produs, în funcţie de caracteristicile pe care trebuie sa le aibă, atât în timpul proceselor de transformare pe care le suferă materialul din care este confecţionat produsul cât şi în timpul exploatării produsului.

Orice tratament termic reprezintă o *succesiune de incălziri şi răciri controlate* aplicate unui material metalic în stare solidă în vederea modificării structurii, şi corespunzator, a proprietăţilor funcţionale şi tehnologice, într-un sens dinainte stabilit. Tratamentele termice sunt puternic poluante atât ale aerului, cât şi ale apei şi solului deoarece în timpul unui tratament termic materialul suferă un ciclu termic de încălzire-menţinere-racire în anumite medii, având drept rezultat o serie de substanţe cu un impact mai mare sau mai mic asupra mediului.

De exemplu, procesul tehnologic general de realizare a unui tratament termic presupune parcurgerea etapelor prezentate in figura 16.46., în care se văd şi momentele şi sursele de poluare (marcate cu *) care apar. Procesul tehnologic de tratament termic şi gradul de impact asupra mediului sunt funcţie de natura transformărilor structurale ce trebuie să le sufere materialul şi de proprietaţile funcţionale şi tehnologice pe care trebuie sa le aibă produsul în urma procesului de tratament termic. Cele mai des intâlnite tratamente termice sunt: recoacerea de omogenizare; recoacerea de regenerare; recoacerea de recristalizare; recoacerea de detensionare; recoacerea pentru îmbunătăţirea prelucrabilităţii prin aşchiere; recoacerea de maleabilizare; călirea; îmbătrânirea; revenirea; călirea superficială; globulizarea; îmbunătăţirea; perlitizarea; tratamentele termochimice (carburarea; cementarea, nitrurarea, carbonitrarea, cianurarea, alumizarea, borizarea etc).

Fiecare tip de tratament termic presupune un anumit proces tehnologic şi un

anumit echipament tehnologic corespunzator, fiecare având un impact diferit asupra mediului. De exemplu, dacă se ia în considerare doar impactul substanțelor emise în atmosferă (tabelul 16.15.) se pot vedea categoriile de efecte la care pot conduce aceste emisii, neluând în considerare impactul substanțelor emise în apa sau în sol.

Tabelul 16.15. **Impactul substanțelor emise în atmosfera într-o secție de tratamente termice.**

Categoria de efecte	*Emisiile poluante*
Efecte acide	SO_2 ; NO_x ; HCl; H_2SO_4 ; NH_3 ; HCN; HNO_3
Contaminarea solului şi apelor	Metale grele. Poluanți organici persistenți. Soluții de diferite categorii.
Distrugerea stratului de ozon	Clorofluorocarbonați
Efectul de seră	CO_2 ; CH_4 ; N_2O; SF_6; HFC; PFC; CO; COVNM; NO_x ; SO_2 ; HCl; NH_3
Sănătatea populației	SO_2 ; NO_x ; COVNM; CO; HCl; praf, metale grele, aerosoli etc.

Pentru a determina gradul de impact asupra mediului al unui proces tehnologic de tratament termic se determina coeficientul de poluare C_{ptt} introdus de tratamentul termic, folosind relația:

$$C_{ptt} = Q_{pt} \cdot N_{pe} = (Q_{pta} + Q_{ptl} + Q_{pts}) \cdot N_{pt} \quad \text{[kg emisii]} \qquad (16.46)$$

In care: Q_{pt} este cantitatea totală de substanțe poluante ce apar în timpul tratamentului termic al unui produs, în kg emisii/produs;

Q_{pta} - cantitatea de substanță poluantă a aerului, ce apare în timpul tratamentului termic, în kg emisii/produs;

Q_{ptl} - cantitatea de substanță poluantă a apei, ce apare în timpul tratamentului termic, în kg emisii/produs;

Q_{pts} - cantitatea de substanță poluantă a solului, ce apare în timpul tratamentului termic, în kg emisii/produs;

N_{pt} - numarul de produse tratate termic, în kg emisii/produs;

8 °Repararea, recondiționarea, reciclarea – sunt operații tehnologice care apar în general după scoaterea din uz a produsului (casarea produsului) după un anumit număr de ore de funcționare în regim normal (cazul reparațiilor curente sau reparațiilor capitale) sau după un anumit număr de ore funcționale la parametrii necorespunzatori).

În general, reparațiile presupun un anumit proces tehnologic, folosirea unor echipamente specializate şi a unor materiale corespunzatoare astfel că, impactul

asupra mediului este mai mare sau mai mic în funcție de natura operațiilor şi mai ales de produsul care se repară.

Procesul tehnologic de reparare cuprinde totalitatea lucrărilor şi operațiilor care se execută pentru repararea unui echipament sau instalații (fig 16.47) şi anume:

- pregatirea de fabricație;
- producerea anticipata a pieselor de schimb;
- aducerea instalației în secția de reparații (dacă este cazul);
- demontarea instalației, a ansamblurilor şi a subansamblurilor, cu marcarea ordinii demontării acestora;
- curățirea, decaparea şi degresarea pieselor demontate;
- inspectarea pieselor demontate şi constatarea defectelor;
- sortarea pieselor;
- stabilirea dimensiunilor pieselor care se reconditionează şi a celor care se execută din nou ținând seama de eliminarea sau compensarea uzurii;
- executarea pieselor;
- ajustarea şi montarea pieselor pe subansamble;
- reglarea pieselor şi subansamblelor pe instalație;
- vopsirea instalației (dacă este cazul);
- rodajul instalației;
- testarea instalației în vederea recepției;
- transportul şi instalarea instalației;
- repunerea în funcțiune;
- recepția la beneficiar.

Pentru fiecare tip de instalație sau maşină şi tip de reparație în parte se stabileşte câte un *proces tehnologic tip,* proces tehnologic ce are un impact asupra mediului aproape la fel ca cel de fabricație. Se vede în figura 16.47 ca există numeroase etape şi momente ale procesului de reparare în care are loc un impact asupra mediului chiar mai mare decât în procesul de fabricație deoarece, de exemplu, reparația înseamnă o refabricație în producție individuala chiar dacă fabricația a fost o producție de serie mare sau de masă.

Recondiționarea unui produs se face fie pentru a îndeplini acelaşi rol funcțional (de exemplu, un arbore cotit dintr-un motor cu explozie rămâne tot arbore cotit în acelaşi motor cu explozie) sau pentru un alt rol funcțional (arborele cotit poate fi folosit într-un alt motor unde solicitarea este mult mai mică sau într-un ansamblu unde transformă mişcarea de rotație în mişcare de translație).

Recondiționarea se face de regula prin procedee care conduc la *remedierea defectelor*, putând fi chiar parte a proceselor de fabricație.

În general, tehnologiile de remediere a defectelor se pot aplica şi pentru recondiționarea pieselor (fig. 16.48).

Compensarea uzurii face parte dintre tehnologiile specifice recondiționării. Compensarea se face prin introducerea unor piese suplimentare (bucşe – pentru alezaje, respectiv manşoane – pentru arbori, şaibe, spire de arc, plăcuțe etc.) asamblarea acestora făcându-se prin presare la cald sau la rece (fretare).

Exemple de tehnologii de reconditionare curent folosite în industria

constructoare de masini se prezinta în tabelele 16.16…16.21.

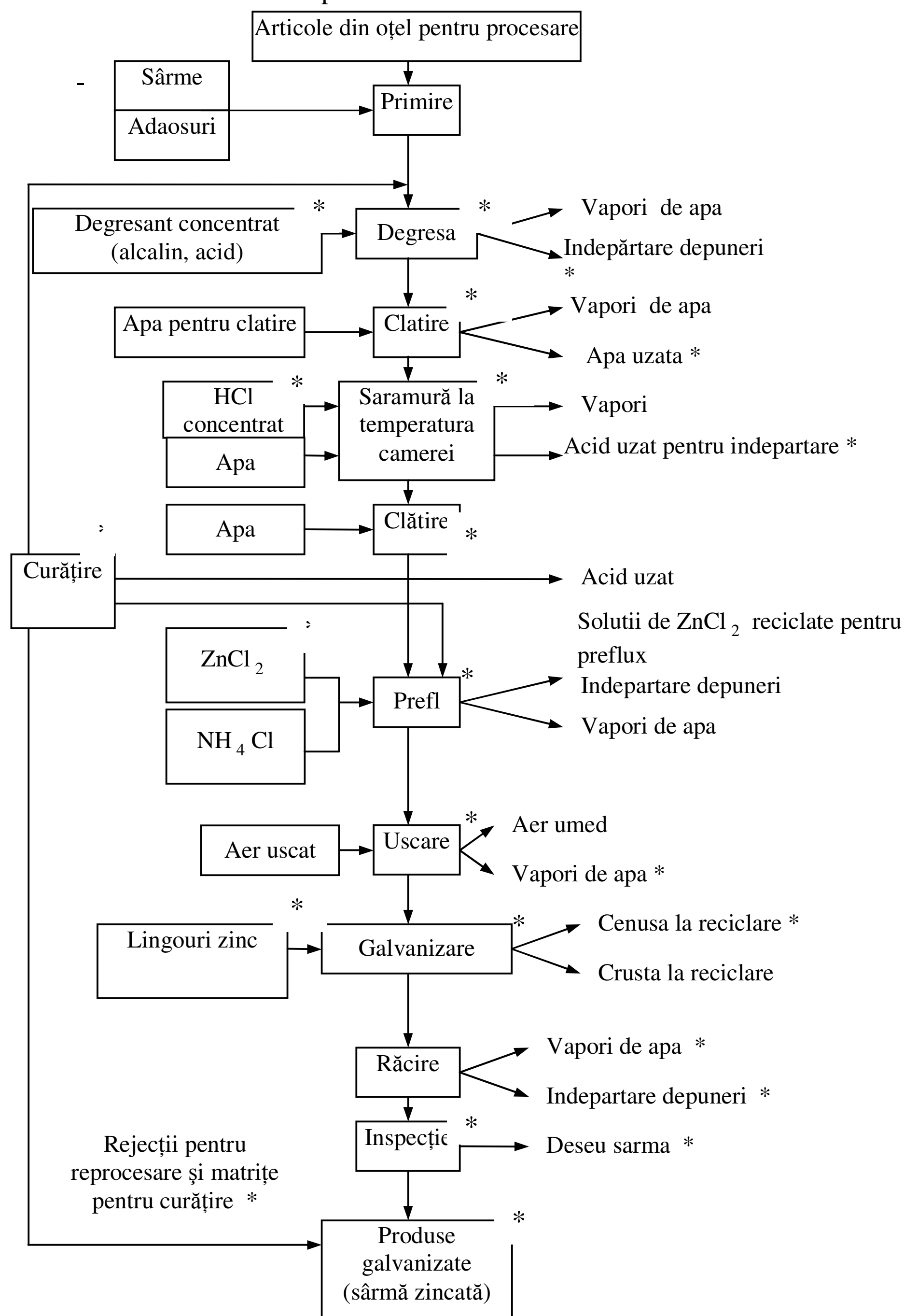


Fig 16.45. Procesul de galvanizare (sârmă zincată) şi sursele de poluare (* - etapele şi sursele de poluare).

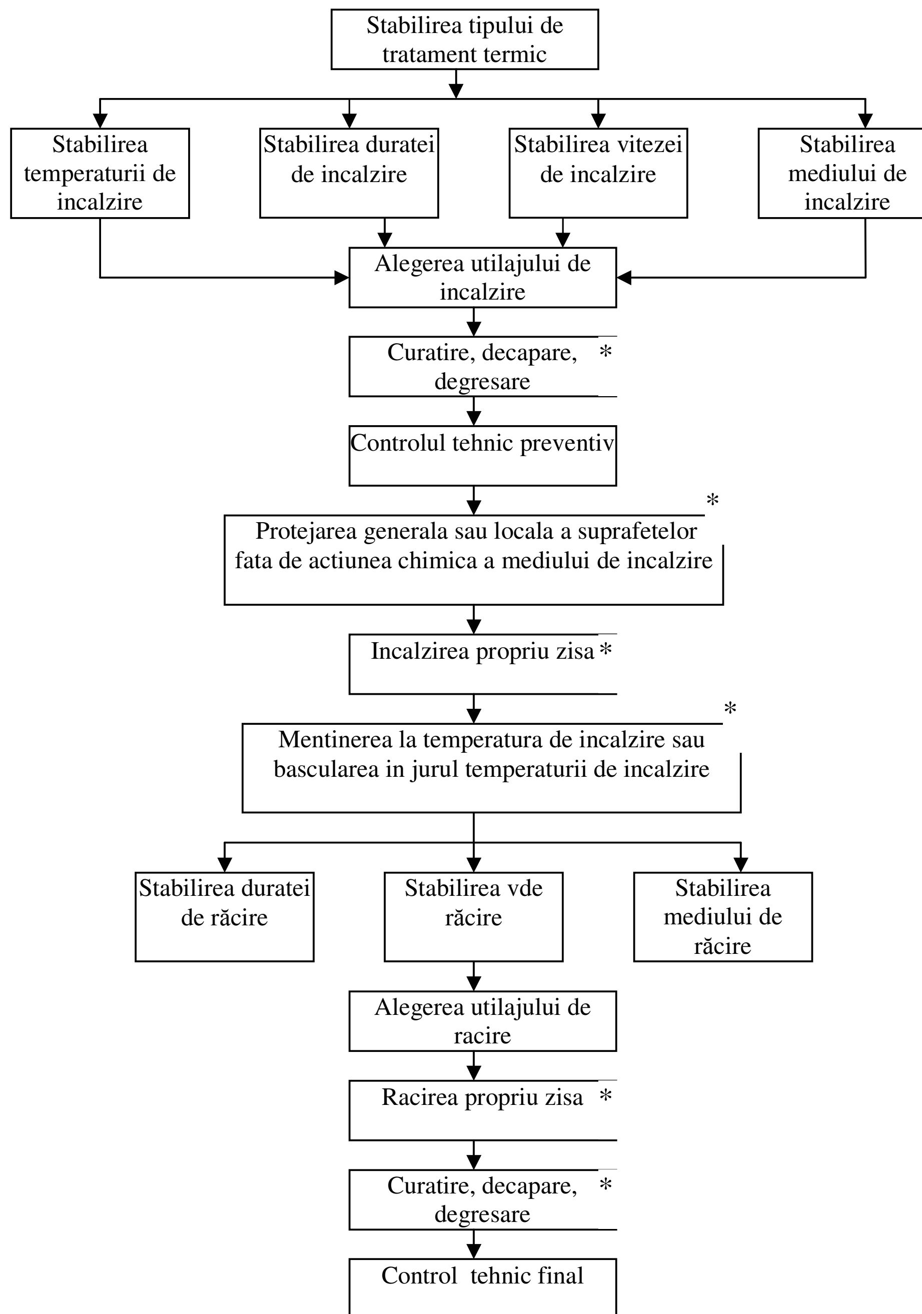


Fig 16.46. Schema de principiu a unui tratament termic şi momentele de impact asupra mediului (* - etapele şi sursele de poluare).

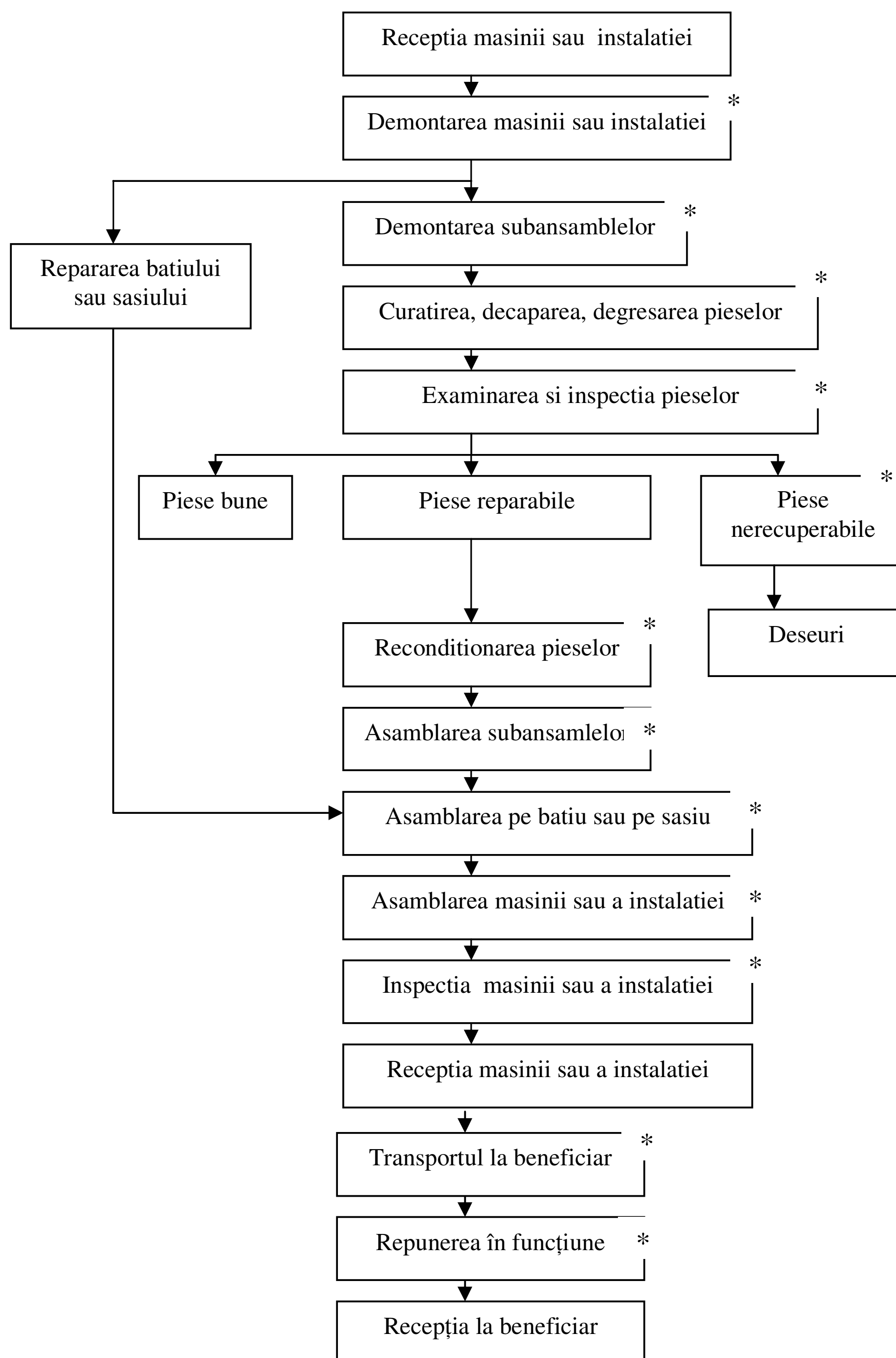


Fig 16.47. Procesul tehnologic tip al unei reparații capitale şi etapele în care apare un impact asupra mediului (* - momentele şi etapele în care apare poluarea mediului).

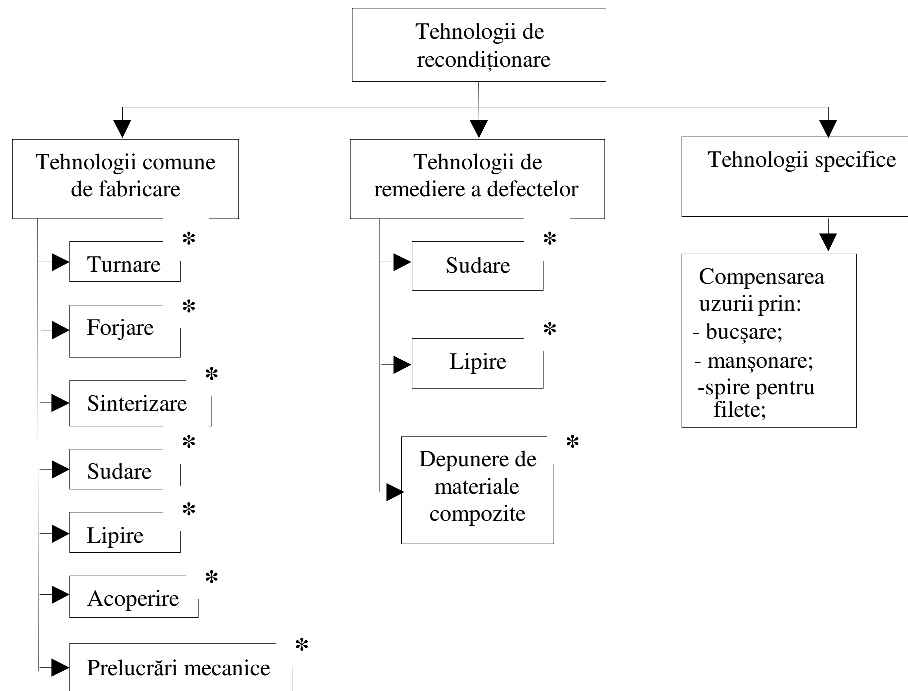


Fig. 16.48. Cateva tehnologii de recondiționare şi zonele în care apare impactul asupra mediului (*).

Tabelul 16.16. **Tehnologii de recondiționare curente.**

Metoda	**Procedeul/Operații**	**Aplicații la recondiționarea**
0	1	2
Răsfrângerea	Îndreptarea	Arborilor
	Mandrinarea	Alezajelor
	Refularea	Canelurilor, tacheților, butucilor, bielelor, furcilor cardanice
	Retrângerea	Suprafețelor interioare ale: furcilor cardanice, alezajelor fuzetelor etc.
	Moletarea	Arborilor, manşoanelor.
	Fretarea	Asamblarea cu strângere a compensatoarelor de uzură (bucşare, manşonare)
Deformare plastică superficială	Sablarea cu alice	Elementelor de structură
	Ecruisarea centrifugală cu bile	Ghidajelor
	Rularea cu bile sau role	Ghidajelor
	Tasarea cu broşe	Alezajelor
	Calibrarea	Bielelor
	Detensionarera prin percuție	Zonelor cu tensiuni: racordări, suduri, muchii, caneluri, canale de pană etc.

***Tabelul 16.16*. (continuare)**

Sudare	Încărcarea cu arc electric	Pieselor din oţel, astuparea fisurilor
	Încărcarea oxi-gaz	Pieselor din oţel cu pereţi subţiri
	Încărcarea prin vibrocontact	Majoritatea pieselor din oţel
Lipire	Lipirea moale	Pieselor din aliaje neferoase
	Brazarea	Pieselor din oţel, pieselor din materiale diferite
	Lipirea cu adezivi	Astuparea fisurilor, îmbunătăţirea etanşeităţii
Metalizare prin pulverizare termică	Cu arc electric şi pulbere	Compensarea uzurii dimensionale, permite modificarea compoziţiei materialului de aport
	Cu arc electric şi sârmă	Cel mai accesibil procedeu, larg răspândit
	Cu plasmă şi pulbere	Pieselor din oţel aliat
	Oxi-gaz şi sârmă	Straturi de acoperire omogene
	Oxi-gaz şi pulbere	Permite metalizarea carburilor metalice
	Cu laser şi pulbere	Depunerea materialelor greu fuzibile
	Prin detonaţie	Depunerea materialelor greu fuzibile, a lubrifianţilor solizi, a straturilor anticorozive
Metalizare prin pulverizare la rece	Spray	Permite intervenţia rapidă, asigură menţinerea în fucţionare de avarie până la remedierea defecţiunii
Metalizare prin depunere electrochimică	Cromarea dură	Compensarea uzurii dimensionale, rezistenţă la uzare
	Cromarea poroasă	Cămăşile de cilindri, segmenţii; asigură reţinerea lubrifiantului
	Oţelizarea	Compensarea uzurii dimensionale a: arborilor, camelor, bucşelor, inelelor, carcaselor, transmisiilor etc.
	Cuprarea	Straturi antifricţiune
	Nichelarea dură	Înlocuieşte cromarea dură; straturi cu tenacitate mai mare
	Stanarea	Pistoanelor şi segmenţilor din fontă, straturi antifricţiune
Prelucrări prin aşchiere	Rabotarea	Pregătirea suprafeţelor pentru încărcare sau metalizare
	Mortezarea	Butucilor şi bucşelor profilate
	Strunjirea	Arborilor, bucşelor, manşoanelor, pregătirea suprafeţelor pentru metalizare
	Frezarea	Corectarea abaterilor de formă
	Găurirea	Pregătirea suprafeţelor
	Alezarea	Corectarea abaterilor de formă
	Broşarea	Butucilor, bucşelor şi lagărelor
	Rectificarea	Corectarea abaterilor de formă
	Honuirea	Finisarea suprafeţelor interioare a cilindrilor şi cămăşilor de cilindru
	Lepuirea	Finisarea suprafeţelor
	Polizarea	Finisarea suprafeţelor
	Răzuirea	Asigurarea contactului alunecător
Prelucrări prin microaşchiere	Cu laser	Durificarea şi finisarea suprafeţelor
	Cu fascicul de electroni	Microprelucrări ale alezajelor
	Cu ultrasunete	Microprelucrări ale alezajelor
	Electrochimic	Finisarea materialelor extradure

Tabelul 16.16. **(continuare)**

	Electroeroziune	Prelucrarea materialelor dure
	Electromecanic	Arborilor, fuzetelor, pieselor tratate termic
Depunere de materiale nemetalice	Materiale compozite	Compensarea uzurii dimensionale, astuparea fisurilor, îmbunătățirea etanşeității
	Pulverizarea termică a maselor plastice	Carcase, suporți, bare expuse coroziunii
	Sticlă solubilă	Umplerea porilor, îmbunătățirea etanşeității
	Bazalt	Bucşe pentru lagăre, ghidaje, îmbunătățirea rezistenței la coroziune

Reconditionarea pieselor se utilizeaza curent la repararea:

- autovehiculelor si tractoarelor (motoare, cutii de viteze, transmisii, pompe etc);
- masinilor unelte si robotilor industriali (mecanism de reglare, arbori principali, lagare, mecanism de transformare, cutii de viteze, sisteme hidraulice, cuplaje şi frâne, ghidaje, elemente de structură, scule etc.);
- instalațiilor din sectorul energetic (cazane, turbo şi hidroagregate, mori de cărbune, injectoare, instalații de alimentare şi evacuare etc.);
- utilajelor din industria materialelor de construcții (cuptoare fixe şi rotative, mori de măcinare, amestecătoare, benzi transportoare, sortatoare, dozatoare etc.);
- utilajelor din industria extractivă (instalații de foraj, excavatoare, încărcătoare, instalații de tratare a minereurilor etc.);

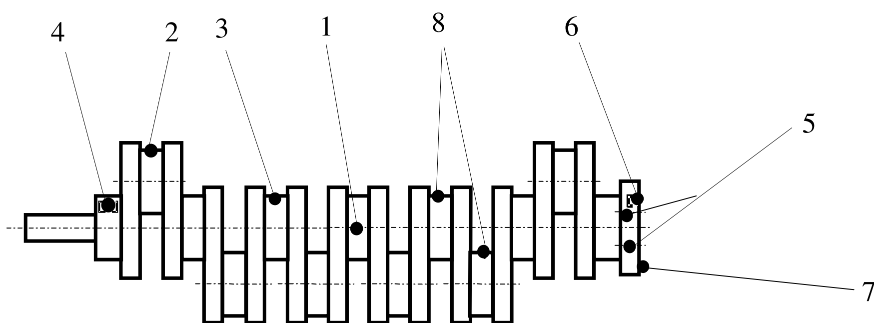


Fig. 16.49. Localizarea deteriorărilor arborelui cotit:
1 - încovoierea; 2 - uzura în lungime a manetoanelor; 3 - uzura în lungime a fusului palier central; 4 - uzura canalului de pană al pinionului de distribuție; 5 - deteriorarea filetului de prindere a volantului; 6 - uzura locaşului de ghidare; 7 - bătaia frontală; 8 - abaterile dimensionale şi de formă ale fusurilor manetoane şi paliere.

Tabelul 16.17. **Tehnologia de recondiționare a arborilor cotiți.**

Defectul	**Tehnologia de recondiționare**
1 - Încovoierea arborelui	Îndreptare la rece pe presă cu sprijinirea arborelui cu palierele marginale pe prisme.

***Tabelul 16.17*. (continuare)**

2 - Uzura în lungime a fusurilor manetoane	**- Cromarea dură, urmată de rectificare la cota nominală şi netezire prin rulare;** - Încărcarea prin metalizare cu pulverizare termică, urmată de rectificare frontală la cota nominală.
3 - Uzura în lungime a fusului palier central	- Rectificarea suprafeţelor frontale ale fusului la una din cotele de reparaţie, urmată de montarea inelelor de compensare corespunzătoare treptei de reparaţie; - Încărcarea prin metalizare cu pulverizare termică, urmată de rectificare frontală la cota nominală.
4 - Uzura canalului de pană al pinionului de distribuţie	- Frezarea canalului la o cotă de reparaţie; - Frezarea unui alt canal, plasat la 90^0 faţă de cel uzat, atât în arbore, cât şi în butucul pinionului de distribuţie, având-se grijă să nu se modifice reglajul distribuţiei.
5 - Deteriorarea filetului găurilor de prindere ale volantului	Lărgirea găurilor urmată de filetarea lor.
6 - Uzura locaşului pentru ghidarea arborelui primar al cutiei de viteze	- Dacă este montat un rulment de ghidare locaşul se cromează dur şi se rectifică la cota nominală; - Dacă este o bucşă de ghidare se alezează locaşul la cota nominală şi se înlocuieşte bucşa de ghidare.
7 - Bătaia suprafeţei frontale a flanşei	Se rectifică suprafaţa frontală ţinând seama de grosimea minimă admisibilă a flanşei.
8 - Uzura, ovalitatea şi conicitatea fusurilor manetoane şi a celor paliere	- Rectificarea fusurilor manetoane la cota de reparaţie, urmată de lustruirea şi refacerea razelor de racordare; - Încărcarea fusurilor prin cromare dură sau metalizare prin pulverizare termică, urmată de rectificarea la cota nominală sau la cota de reparaţie şi lustruire.

***Tabelul 16.18.* Tehnologia de recondiţionare a arborilor maşinilor-unelte.**

Defectul	**Tehnologia de recondiţionare**
Deteriorarea găurilor de centrare	Recondiţionare pe strung.
Uzura fusurilor	-Încărcarea prin metalizare prin pulverizare termică; prin cromare sau oţelizare, sau prin sudare, urmată de rectificare la cota nominală şi ecruisare; -Bucşare sau manşonare, urmată de rectificare, ecruisare şi lustruire.
Fisuri ale fusurilor şi umerilor acestora	- Determinarea fisurilor prin control defectoscopic cu lichide penetrante şi ultrasunete; - Rectificarea zonelor deteriorate fără încărcare, pentru defecte care nu depăşesc 0,25 mm pe rază, sau strunjirea pentru eliminarea zonelor cu defecte, urmată de încărcare şi de rectificare.
Încovoierea arborelui	- Îndreptare la rece pe presă hidraulică sau cu şurub, cu sprijinirea arborelui pe prisme. Arborii cu diametru mai mare de 50 mm se îndreaptă numai la cald.
Abateri de formă	- Rectificarea zonelor deteriorate fără încărcare, pentru abateri care nu depăşesc 0,25 mm pe rază, sau încărcarea urmată de rectificare.

Tabelul 16.19. **Tehnologia dereconditionare a şuruburilor de mişcare.**

Defectul	**Tehnologia de recondiționare**
Deteriorarea găurilor de centrare	- Recondiționare pe strung.
Abateri de formă (excentricitate, ovalitate, conicitate)	- Recondiționare pe strung, folosind un dispozitiv special de îndreptare.
Uzura fusurilor	- Încărcarea prin metalizare prin pulverizare termică; prin cromare sau oțelizare, sau prin sudare, urmată de rectificare la cota nominală şi ecruisare.
Abateri de la profilul filetului	- Adâncirea filetului fără a se atinge flancurile, urmată de rectificarea diametrului exterior şi de finisarea flacurilor filetului.

Tabelul 16.20. **Tehnologia de recondiționare a chiulaselor.**

Defectul	**Tehnologia de recondiționare**
1- Fisuri, crăpături pe suprafețele exterioare	- Sudare cu arc; - Sudare cu flacără; - Lipire cu răşini epoxidice, urmată de verificarea la etanşeitate a chiulasei la 0,4 MPa.
2 - Scurgeri de apă prin găurile de trecere ale prezoanelor de prindere	- Alezarea găurilor, urmată de introducerea presată a unei bucşe de trecere. Se verifică etanşeitatea prin proba hidraulică la 0,4 MPa.
3 - Deformarea suprafeței de aşezare pe blocul motor	Frezarea şi rectificarea suprafeței de aşezare.
4 - Uzura suprafețelor interioare a ghidurilor, supapelor de admisie şi de evacuare	- Înlocuirea ghidurilor uzate, urmată de alezarea lor la cota de reparație; - Alezarea ghidurilor uzate şi utilizarea unor supape cu diametrul tijei mărit prin cromare.
5 - Uzura locaşelor ghidurilor supapelor de admisie şi de evacuare	- Alezarea locaşurilor, urmată de asamblarea prin presare a unor ghiduri cu diametrul exterior majorat.
6 - Uzarea suprafețelor de aşezare a supapelor de admisie sau de evacuare	- Frezarea şi rectificarea suprafeței de aşezare; - Asamblarea prin fretare a unui nou scaun de supapă, urmată de rectificarea conică a suprafeței de aşezare, urmată de rodarea suprafeței cu supapa corespunzătoare.
7 - Uzura locaşului scaunului supapelor de admisie sau de evacuare	- Alezarea locaşului la cotă majorată, urmată de asamblarea prin fretare a unui nou scaun de supapă, având diametrul exterior majorat corespunzător.
8 - Uzura suprafeței de aşezare a injectorului	- Teşirea suprafeței de aşezare.
9 - Deformarea suprafeței de asamblare cu colectorul de admisie sau de evacuare	- Frezarea şi rectificarea suprafeței de aşezare.
10 - Deteriorarea filetelor găurilor de fixare	- Lărgirea găurii, urmată de refiletare la cota majorată; - Depunerea de material prin sudare cu flacără, urmată de găurire şi filetare la cota nominală.

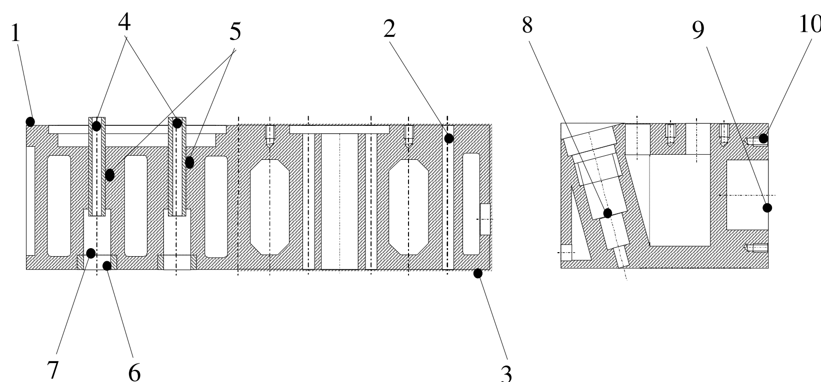


Fig. 16.50. Localizarea deteriorărilor chiulasei:
1 - deteriorarea suprafeței exterioare; 2 - scurgeri de apă prin găurile prezoanelor;
3 - deformarea suprafeței de aşezare; 4 - uzura suprafeței interioare a ghidurilor supapelor;
5 - uzura locaşelor ghidurilor supapelor; 6 - uzura suprafețelor de aşezare a supapelor;
7 - uzura locaşelor scaunelor supapelor; 8 - uzura suprafețelor de aşezare a injectoarelor;
9 - uzura suprafeței de aşezare a colectorului; 10 - deteriorarea filetelor de fixare.

***Tabelul 16.21.* Tehnologia de recondiționare a lagărelor de alunecare.**

Defectul	Tehnologia de recondiționare
Mărirea jocului ajustajului fus-lagăr	- Ajustarea cuzinetului în corpul lagărului şi pe fus; - Încărcarea prin sudare sau metalizare, urmată de strunjire şi rectificare la cota nominală – pentru bucşele din oțel.
Abateri de formă	- Alezarea corpului lagărului şi a cuzinetului asamblat la cotele de reparație.
Deteriorarea suprafeței de contact (gripare, pitting)	- Curățarea suprafeței prin alezare sau strunjire fină, depunerea unui strat compensator, finisarea suprafeței de contact; - Înlocuirea cuzinetului şi finisarea suprafeței de contact.
Deteriorarea materialului antifricțiune (exfoliere, topire)	- Curățarea suprafeței prin alezare sau strunjire fină, depunerea stratului antifricțiune, finisarea suprafeței de contact; - Înlocuirea cuzinetului şi finisarea suprafeței de contact.
Fisurarea corpului lagărului	- Curățarea zonei deteriorate, urmată de sudare sau lipire cu adezivi epoxidici.

Limitele utilizării tehnologiilor de recondiționare sunt date de factori: tehnici, tehnologici, ecologici economici şi organizatorici (tab. 16.22).

Decizia managerială trebuie să fie fundamentată ținând seama de complexul acestor factori.

Factorii tehnici care influențează utilizarea tehnologiilor de recondiționare sunt: rezistența la uzare, funcționalitatea, durabilitatea, rezistența mecanică şi interschimbabilitatea.

Factorii tehnologici care influențează utilizarea tehnologiilor de recondiționare sunt: productivitatea, costurile (operațiilor de bază, ale celor auxiliare şi celor totale), accesibilitatea procedeului şi caracterul producției (tabelul 16.22).

***Tabelul 16.22*. Limitele tehnologice ale unor procedee de recondiționare.**

Procedeul de depunere	**Productivitatea [kg/h]**	**Duritatea stratului depus [daN/mm^2]**	**Uniformitatea stratului depus [mm]**	**Aplicabilitate la o uzură de... [mm]**
Sudare cu flacără	0,8-1	300-400	0,5-2	<3
Sudare cu arc cu electrozi înveliți	1-3	300-400	1-2	<6
Sudare cu arc cu electrod de grafit	0,8-1	600-800	0,5-1,5	<2,5
Sudare MIG	8	400-600	0,5-1,5	<6
Sudare WIG	2,5-3,5	420-530	0,5-1,5	<3
Sudare MAG	1,7-8	170-500	0,5-1,5	<6
Sudare sub flux	10-40	350-500	0,5-2	>0,5
Sudare cu plasmă	3,15	360-650	0,1-1	0,5
Sudare cu electrod bandă	3	400-600	0,05	<0,5
Pulverizare termică	2-14	280-600	0,5-1	>0,6
Cromare dură	0,04	400-1200	0,5	<0,3

Factorii economici care influențează utilizarea tehnologiilor de recondiționare sunt: cheltuielile pentru realizarea unei piese noi, durabilitatea piesei noi şi a celei recondiționate, cheltuielile pentru recondiționarea unei piese, mărimea seriei de fabricație etc.

Factorii ecologici care influenteaza utilizarea tehnologiilor de reconditionare sunt toti factorii poluanti aiaerului, apei sau solului ce apar pe parcursul procesului tehnologic de reconditionare.

Factorii organizatorici care influențează utilizarea tehnologiilor de recondiționare sunt: specificul de activitate a firmei care beneficiază de piesele recondiționate, strategia managerială, existența unor compartimente specializate, accesibilitatea procedeelor de recondiționare şi a cooperării între firme, frecvența intervențiilor etc.

Proiectarea pentru reciclare (*design for reuse, design for disassembly, design for remanufacture, green product design*) este un concept constructiv care stă la baza ecotehnologiilor contemporane. Produsele trebuie să fie concepute astfel încât să poată fi incluse cu uşurință într-un circuit de reciclare după scoaterea lor din funcțiune. Circuitul de reciclare poate include: colectarea, depozitarea, sortarea, demontarea, recondiționarea (refabricarea), actualizarea (*up-grade*), reintroducerea produsului în circuitul de utilizare, tratarea şi depozitarea deşeurilor (fig. 16.51).

Pentru a se permite reciclarea uşoară a produselor şi a componentelor acestora, la conceperea produselor, proiectantul trebuie să aibă în vedere satisfacerea următoarelor cerințe:

- reciclarea materialelor, separarea componentelor în raport cu materialul acestora, reutilizarea uşoară a materialelor;
- folosirea unor materiale ecologice, pentru care este pusă la punct o tehnologie de recuperare, tratare, reciclare;

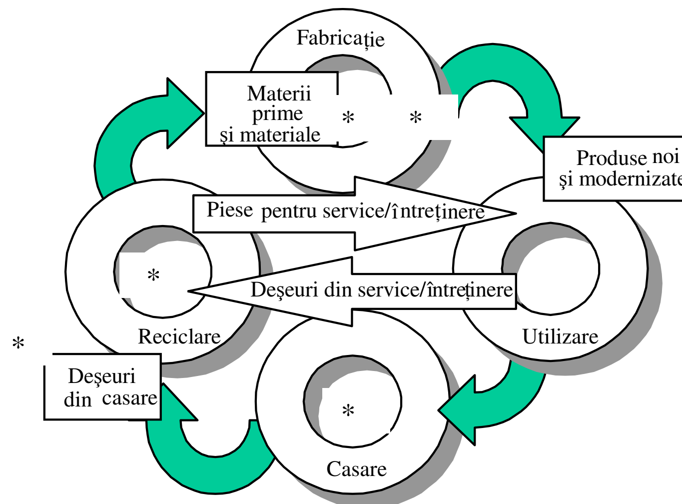


Fig. 16.51. Locul reciclării în ciclul de viaţă al produsului si zonele in care apare poluarea (*).

- procedee de reprelucrare a componentelor;
- separarea componentelor de formă exterioară cu rol estetic (elemente de estetică care se pot modifica în funcţie de modă) de cele de structură şi cele funcţionale;
- utilizarea unor asamblări demontabile pentru componentele schimbabile;
- modularizarea produselor şi a componentelor;
- normalizarea şi tipizarea componentelor şi produselor;
- controlabilitatea componentelor şi ansamblelor;
- diminuarea uzurii (prevederea de piese de uzură, utilizarea de materiale rezistente la uzare etc.);
- mentenabilitatea (tehnologii de reparare şi de întreţinere, instrucţiuni de exploatare şi de întreţinere);
- întreţinere cât mai simplă şi uşoară;
- posibilitatea de a se verifica şi sorta componentele după coduri;
- accesibilitatea componentelor în vederea demontării uşoare;
- rezistenţă la coroziune şi la degradare pe întreaga durată de viaţă a produsului;
- posibilitatea de montare şi respectiv de demontare uşoară şi rapidă;
- posibilitatea de curăţire uşoară;
- posibilitatea de manevrare (cârlige de ridicare, mânere etc.);
- posibilitatea de a reprelucra componentele (rezerve de material – adaosuri de reprelucrare etc.)

Proiectarea compatibilă este o soluţie constructivă inclusă conceptului de proiectare pentru reutilizare, care permite recondiţionarea uşoară a produselor. O serie de produse este *compatibilă* atunci când este posibilă *interschimbabilitatea*

componentelor şi când dezvoltări ulterioare ale produsului se pot face utilizând o *platformă de bază comună*. De exemplu, calculatoarele personale sunt concepute pe o platformă comună, care permite actualizări ulterioare şi în acelaşi timp produsele realizate de diverse firme sunt compatibile între ele (compatibile cu *modelul IBM*). Marile firme de autoturisme lucrează de asemenea pe platforme tehnice comune pentru modelele de aceeaşi categorie (WV, Skoda, Seat, Audi; Renault, Nissan, Dacia). În acest ultim exemplu, proiectarea compatibilă vizează reducerea cheltuielilor de cercetare ştiinţifică şi de dezvoltare tehnologică în cadrul concernului, creşterea eficienţei prin mărirea *stabilităţii producţiei* şi scurtarea timpului de răspuns pe piaţă.

Compatibilitatea dintre produse se realizează prin modularizare şi tipizare.

Modularizarea constă în conceperea produselor sub forma unor ansamble de module, comune unei clase. Modulele corespund grupelor constructive şi funcţionale ale produsului respectiv.

De exemplu, o maşină unealtă poate fi realizată fie ca un proiect unicat, din componente special proiectate şi executate sau, dimpotrivă, din elemente modulare, care pot fi folosite şi la realizarea altor tipuri de maşini: motoare de acţionare, batiuri, montanţi, mese, ghidaje, dispozitive de prindere, cutii de viteze, cutii de avansuri, capete de prelucrare, instalaţii electrice, hidraulice, de ungere, de evacuare a aşchiilor, de alimentare cu piese etc.

Modularizarea permite:

- o proiectare, o fabricaţie şi o mentenanţă uşoară, apelându-se la componente existente, accesibile şi foarte bine cunoscute de personalul de exploatare şi service;
- o eficienţă crescută a producţiei
- o viteză mare de răspuns la cerinţele pieţei, reducerea la minimum a termenelor de onorare a contractelor.

Fabricaţia modulelor se poate face în producţie de serie mare şi de masă, în timp ce, prin asamblarea diferită a modulelor, combinată cu un minimum de elemente individualizate, se pot realiza produse unicate, la temă. Modularizarea se aplică la nivelul firmei.

Tipizarea constă în restrângerea gamei de dimensiuni de execuţie a produselor şi a componentelor acestora, în scopul simplificării fabricaţiei şi a volumului documentaţiei aferente. Tipizarea poate fi realizată la nivelul firmei, la nivelul ramurii industriale sau la nivel naţional.

Tipizarea poate fi implementată prin norme şi standarde (de exemplu, şirul de numere normale utilizate în proiectarea rapoartelor de transmitere, gama de ajustaje, diametrele nominale ale conductelor şi elementelor hidraulice, formatele de desen şi cele tipografice, gabaritul elementelor de construcţii, gabaritul ambalajelor, paletelor şi containerelor etc.).

Figura 16.52 prezintă aplicarea reciclării la produsele de larg consum, respectiv bunurilor industriale. Ambele tipuri de produse parcurg tehnologii similare de recondiţionare, efectul economic generat de reutilizare este diferit, în funcţie de complexitatea şi utilitatea produsului respectiv. În cazul bunurilor de larg consum este importantă înlocuirea produsului defect, în timp ce, pentru

bunurile industriale este importantă modernizarea produsului şi uneori posibilitatea de a achiziţiona produse de tehnologicitate ridicată la preţuri reduse (piaţa *second-hand*).

O practică frecventă de reutilizare a materialelor este de a se folosi piesele uzate de dimensiuni mari drept semifabricate pentru execuţia altor piese de dimensiuni mai mici. Astfel, din cilindrii de laminor uzaţi se pot prelucra: roţi dinţate, pinioane, arbori, tije, coloane, cilindri, role, nicovale, cuplaje etc. Avantajele acestei practici, faţă de utilizarea materialelor noi, sunt: reducerea consumului energetic cu 15 - 45%, reducerea consumului de material cu 6 - 8%, diminuarea costurilor cu 10 - 35%, reducerea volumului deşeurilor cu 75 - 80%.

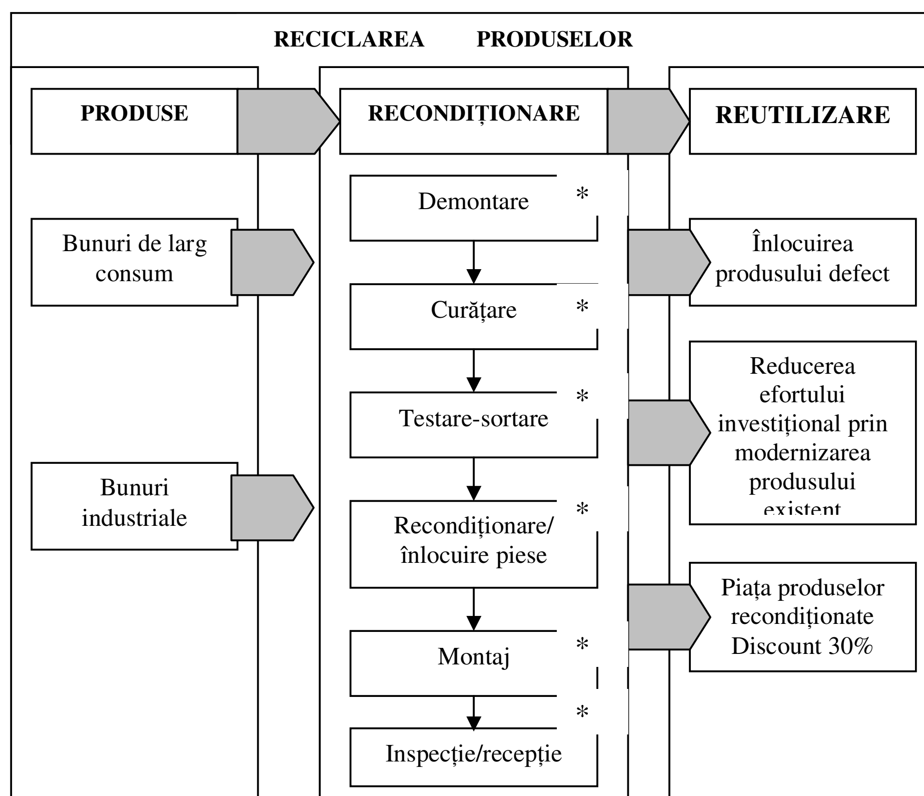


Fig. 16.52. Etapele şi utilitatea reciclării (* - etapele cu poluare intensă).

În urma fabricării şi a reciclării produselor sunt generate *deşeuri*. Acestea trebuie să fie introduse într-un circuit de recuperare, astfel încât să nu se provoace efecte negative asupra mediului şi, în acelaşi timp, să fie recuperate energia şi cheltuielile generate de existenţa acestor deşeuri.

În figura 16.53 este exemplificat un circuit de recuperare a deşeurilor provenite ca urmare a scoaterii din uz a produselor casnice şi a anumitor categorii de produse industriale şi agricole.

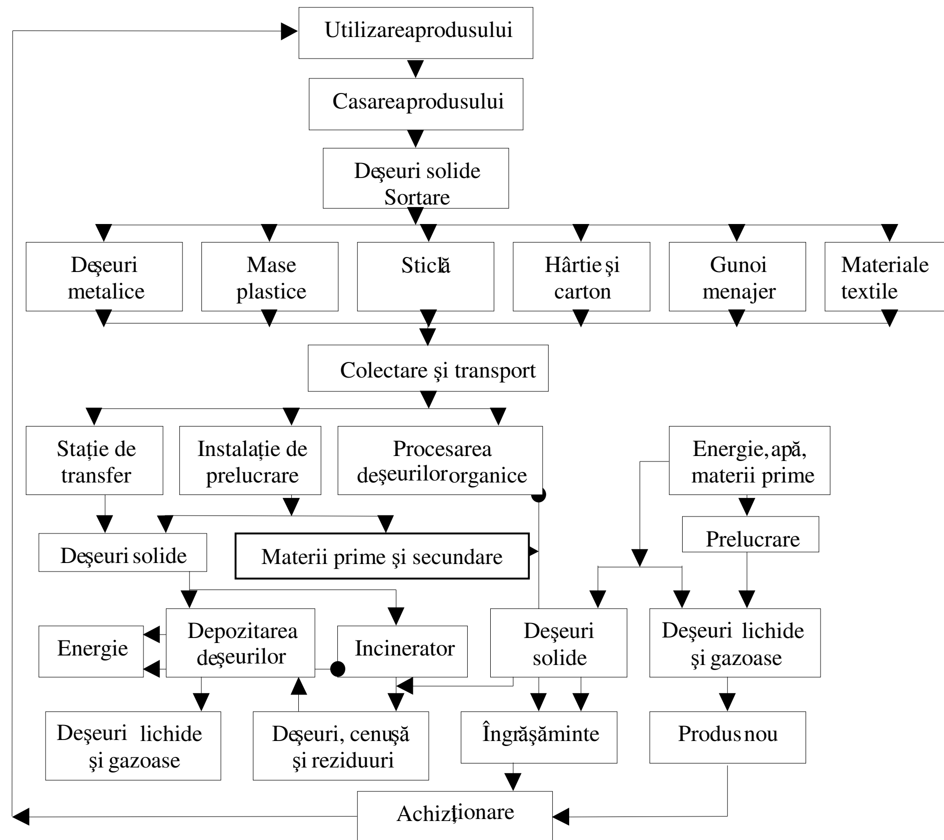


Fig. 16.53.. Circuitul de recuperare a deseurilor.

Circuitul de recuperare trebuie să înceapă chiar de la utilizator, care prin casarea produsului devine generator de deşeuri. La generatorul de deşeuri trebuie să se facă sortarea deşeurilor pe categorii de recuperare, stabilite împreună cu firma care se ocupă cu colectarea, transportul şi prelucrarea acestor deşeuri. Modalitatea de depozitare, colectare şi transport trebuie să ajute şi să încurajeze atitudinea civică şi ecologică a generatorului de deşeuri.

Categoriile de recuperare sunt:

- deşeuri voluminoase nemetalice (mobilă, saltele etc.);
- deşeuri textile;
- deşeuri de hârtie şi carton;
- deşeuri de sticlă;
- deşeuri de mase plastice (ambalaje);
- deşeuri de cauciuc (anvelope);
- deşeuri speciale (baterii, acumulatori, medicamente, substanţe toxice, lubrifianţi);
- deşeuri metalice;

- deşeuri complexe care necesită la rândul lor separarea şi sortarea (autoturisme, aparate electrocasnice etc.);
- deşeuri menajere vegetale şi animale;
- deşeuri din construcții (moloz, beton, asfalt).

Circuitele de recuperare sunt diferite pentru fiecare categorie în parte. Din punct de vedere economic este eficient să se prelucreze numai deşeurile sortate. Cele nesortate pot fi cel mult depozitate, degradarea lor naturală făcându-se cu viteze diferite şi fără a se putea recupera materialele sau energia înglobată în produs. Depozitarea deşeurilor necesită cheltuieli de depozitare şi de administrare, extinse pe mai multe zeci de ani de funcționare a depozitului.

Pentru a aprecia gradul de poluare al acestor operatii (reparare, reconditionare, reciclare) se procedeaza la calculul coeficientului de poluare C_{prrr}, introdus de recuperare, reciclare, recondiționare cu relatia:

$$C_{prrr} = Q_{tp} \cdot M_{nr} = (Q_{pra} + Q_{prl} + Q_{prs})N_{pr} \quad \text{[kg emisii]} \qquad (16.47)$$

In care: Q_{tp} este cantitatea totala de substanta poluantă, exprimată în emisii, kg substanță recondiționată, reciclată;

Q_{pra} - cantitatea de substanta ce polueaza aerul in cadrul operatiilor de reparare, reconditionare, reciclare, în kg emisii/kg;

Q_{prl} - cantitatea de substanta ce polueaza apa in cadrul operatiilor de reparare, reconditionare, reciclare, în kg emisii/kg;

Q_{prs} - cantitatea de substanta ce polueaza solul in cadrul operatiilor de reparare, reconditionare, reciclare, în kg emisii/kg;

N_{pr} - numar de produse reparate, reconditionate, reciclate;

M_{ur} – masa de material util, rezultat în urma reparării, recondiționării, reciclării, exprimată în kg.

Controlul şsi inspectia produselor

Controlul nu constituie în sine un proces care să adauge plus-valoare produsului controlat; *el este menit să ateste fie buna desfăşurare a proceselor de fabricate, fie conformitatea unui produs cu specificațiile sale.*

Rezultatele controlului pot influența deciziile manageriale, tehnologice, constructive de concepție, de execuție, de exploatare şi de mentenanță, controlul constituind o buclă de feed-back.

Din punct de vedere economic, controlul constituie un *timp* de lucru *neproductiv*, care creşte cheltuielile de fabricație. Sub acest aspect, controlul trebuie limitat la un strict absolut necesar.

Controlul produselor presupune determinarea prin inspectare/testare a anumitor caracteristici şi performanțe ale unui produs (analiză, măsurare), compararea lor cu nişte specificații tehnice şi tehnologice, care au fost prescrise pentru acel produs (comparare), clasificarea sau sortarea produselor pe clase de calitate (decizie) şi stabilirea unor acțiuni corective sau preventive (concluzii).

Specificațiile pot fi impuse prin: clauze contractuale de către beneficiar,

norme interne ale firmei, norme de ramură industrială, norme ale organismelor de certificare produse, standarde, legislaţia natională sau internaţională.

Controlul produselor era cunoscut în trecut în întreprinderi sub titulatura de ,,Control Tehnic de Calitate - CTC". Astăzi această denumire este deja depăşită, o dată cu apariţia şi generalizarea standardelor de calitate din seria ISO 9 000.

Conform vocabularului calităţii, standardul ISO 8 402 din 1995, defineşte *calitatea* unui produs sau serviciu ca fiind ,,ansamblul de proprietăţi şi caracteristici ale unui produs sau serviciu care îi conferă acestuia aptitudinea de a satisface necesităţile exprimate sau implicite".

Calitatea este aşadar privită ca o *valoare de întrebuinţare*, ca măsură a utilităţii unui produs sau serviciu, percepută numai în măsura în care ansamblul de proprietăţi şi caracteristici ale produsului reuşesc să rezolve problemele clientului, răspunzând aşteptărilor acestuia.

Un produs/serviciu poate avea din punct de vedere ingineresc orice performanţe, chiar şi extraordinare, dar el nu va fi perceput de către client drept un produs de calitate decât în momentul în care produsul/serviciul este util pentru rezolvarea unei probleme a clientului, răspunzând strict cerinţelor exprimate în contract sau celor subînţelese. Revine specialistilor în marketing dificila misiune de a prospecta piaţa şi de a exprima în date tehnico-economice aşteptările potenţialilor clienţi în raport cu un produs sau serviciu.

După standardul ISO 8 402, *produsul* sau *serviciul* este definit ca ,,rezultat al activităţilor sau proceselor (produse hardware sau software) sau o activitate sau proces în sine - prestarea unui serviciu sau aplicarea unui procedeu de fabricaţie".

Conform standardul ISO 8 402, termenul ,,calitate" nu trebuie utilizat pentru exprimarea unui grad superlativ - nivel de excelenţă, şi nici cu sens cantitativ în evaluările tehnice. În aceste cazuri trebuie să se folosească un calificativ, ca de exemplu: ,,calitate relativă", atunci când produsele sunt clasificate după superlativul lor sau prin comparaţie; respectiv: ,,nivelul calităţii" şi ,,măsura calităţii", atunci când evaluări tehnice precise sunt efectuate şi exprimate cantitativ.

După standardul ISO 8 402, *controlul calităţii* este definit ca: ,,totalitatea tehnicilor şi activităţilor cu caracter operaţional, care au drept scop atât urmărirea (monitorizarea) unui proces, cât şi eliminarea cauzelor performanţelor necorespunzătoare, în vederea îndeplinirii cerinţelor de calitate".

În standardul ISO 8 402 se regăseşte şi ceea ce era îndeobşte cunoscut, în mod tradiţional, drept CTC, denumit însă de acum înainte *inspecţie* - ,,activităţi precum măsurarea, examinarea, testarea uneia sau mai multor caracteristici ale unui produs sau serviciu şi compararea acestora cu cerinţele specificate, în vederea stabilirii conformităţii produsului sau serviciului cu specificaţiile respective".

Problema realizării unor produse de calitate, a lucrului bine făcut de prima dată, este impusă din considerente de eficienţă economică. Astfel se constată o creştere (datorată crizei de materii prime şi energie, a globalizării pieţelor de desfacere) a ponderii costului intrărilor (materii prime, energie, piese şi subansamble, servicii - care sunt achiziţionate de întrepridere) în procesul de fabricaţie, care poate ajunge la peste 50% din costul ieşirilor (produse finite, piese de schimb, servicii). În acest caz, pentru supravieţuirea întreprinderii, este imperios

necesară reducerea drastică a cheltuielilor de fabricaţie (prin reducerea duratei de fabricaţie, a volumului stocurilor, a întârzierilor, a remedierilor şi a înlocuirilor, a birocraţiei inutile; adică prin perfecţionarea şi optimizarea organizării). În acelaşi timp, este necesară o creştere a exigenţei faţă de calitatea intrărilor printr-o colaborare riguroasă cu furnizorii.

În epoca actuală, scopul controlului este de a economisi munca prin prevenirea apariţiei *neconformităţilor* şi nu de a o risipi prin remedierea produselor neconforme. Controlul trebuie să ofere nu numai informaţii despre conformitatea produsului cu specificaţiile; el trebuie să identifice cauzele apariţiei neconformităţilor şi să propună acţiuni corective şi preventive. Din perspectiva actuală, calitatea înglobează patru componente principale (figura 16.54), legate de traseul de fabricaţie şi utilizare a produsului: *concepţie, execuţie, utilizare, service.*

La toate cele patru componente apare un impact asupra mediului intr-o masura mai mare sau mai mica, gradul de poluare depinzand de natura si tipul produsului, respectiv procesului tehnologic.

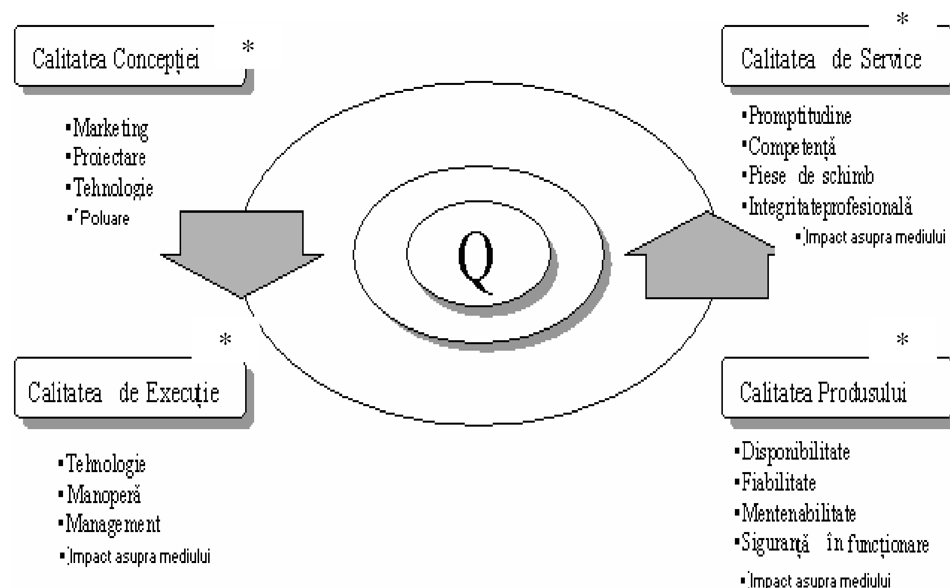


Fig. 16.54. Componentele calităţii si zonele de impact asupra mediului (* - zonele de poluare).

Din perspectiva produsului, calitatea se defineşte prin următorii indicatori:

- *capabilitatea* este capacitatea produsului de a îndeplini cerinţele;
- *fiabilitatea* este capacitatea produsului de a îndeplini funcţiile cerute, în condiţii de utilizare specificate şi într-o perioadă de timp determinată;
- *disponibilitatea* este capacitatea produsului de a satisface misiunea sa într-o perioadă de timp determinată;
- *mentenabilitatea* este capacitatea produsului de a fi repus în funcţiune într-o perioadă de timp determinată;

- *siguranța în funcționare* este capacitatea produsului de a nu afecta mediul şi viața;

- *operabilitatea* este capacitatea produsului de a fi operabil de către beneficiar într-o perioadă de timp determinată;

- *durabilitatea* exprimă durata de viață a produsului.

După cum s-a arătat mai înainte, astăzi termenul *calitate* apare în diverse definiții şi concepte. În figura 16.55. este sintetizată o structură de legătură şi de ierarhizare recapitulativă a diverşilor termeni din familia calității:

- *inspecția calității* este nivelul de bază, operațional (CTC-ul clasic);

- *controlul calității* este nivelul următor de integrare a tehnicilor şi metodelor operaționale;

- *asigurarea calității* generează încrederea internă şi externă în capabilitatea firmei de a crea calitatea;

- s*istemul calității* este infrastructura necesară implementării managementului calității;

- *managementul calității* este funcția managerială care implementează politica firmei în domeniul calității;

- *politica în domeniul calității* este strategia firmei referitoare la calitate;

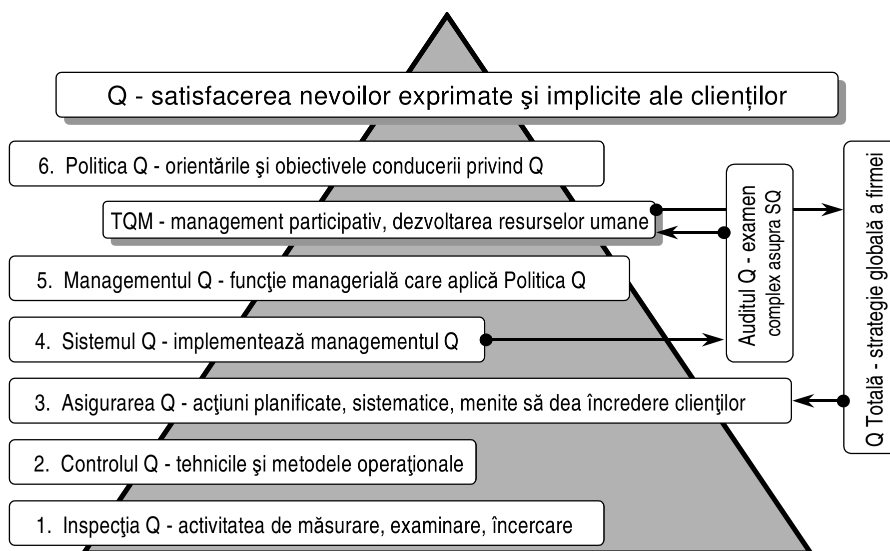


Fig. 16.55. Definirea noțiunilor referitoare la calitate.

- *managementul calității totale* (TQM) este un concept de restructurare a managementului contemporan, care pune accentul pe rentabilizarea firmei pe termen lung, utilizând ca principale pârghii managementul participativ, calitatea, dezvoltarea şi eficientizarea resurselor umane;

- *calitatea totală* este strategia globală a fimei de eficientizare a întregii activități prin calitate;

- *auditul calității* este examenul complex prin care se certifică sistemul

calităţii;

- *calitatea* exprimă valoarea de întrebuinţare a produselor şi serviciilor.

Clasificarea proceselor de control se poate face după mai multe criterii şi anume:

- după poziţia faţă de procesul de transformare se deosebesc (fig. 16.56):
- în amonte, controlul iniţial, care se face:
  - la furnizor;
  - la recepţia produselor;
  - la reglarea maşinilor şi SDV-urilor.
- în timpul desfăşurării procesului:
  - controlul pe fluxul de fabricaţie;
  - autocontrolul/controlul extern;
  - controlul procesului;
  - controlul integral/controlul statistic;
  - controlul pe stand;
  - controlul inter operaţii.
- în aval, controlul final:
  - pe stand;
  - la producător;
  - la expediere;
  - la instalare/punere în funcţiune;
  - după depanare/service.

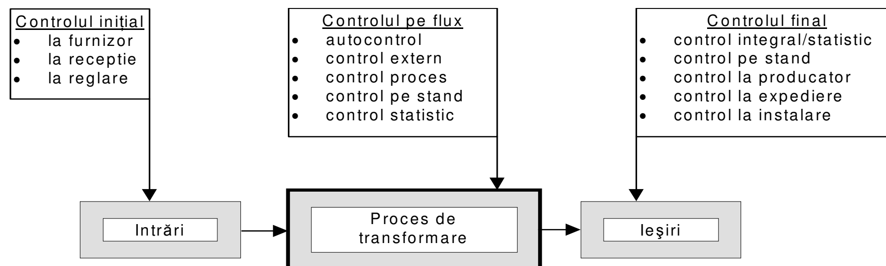


Fig. 16.56. Clasificarea proceselor de control în raport cu procesul de transformare.

- după poziţia în raport cu ciclul de viaţă al produsului se disting (fig. 16.57):
  - procese care au loc la producător;
  - procese care au loc la client (beneficiar);
  - procese care se desfăşoară după casarea produsului.
- după gradul de automatizare al procesului de control se deosebesc:
  - controlul manual;
  - controlul parţial automatizat;
  - controlul integral automatizat.
- după numărul de produse controlate se deosebesc:
  - integral;
  - prin eşantionare, statistic.
- după complexitatea controlului se deosebesc:

- autocontrolul;
- controlul extern specializat;
- auditul.

- după echipamentul utilizat se deosebesc**:**
  - controlul cu instrumente;
  - controlul cu aparate;
  - controlul cu maşini/instalații;
  - controlul pe standuri.
- după condițiile de testare ale produsului se deosebesc:
  - controlul în condiții uzinale;
  - controlul în condiții de laborator;
  - controlul în condiții simulate de funcționare;
  - controlul în condiții reale de funcționare.

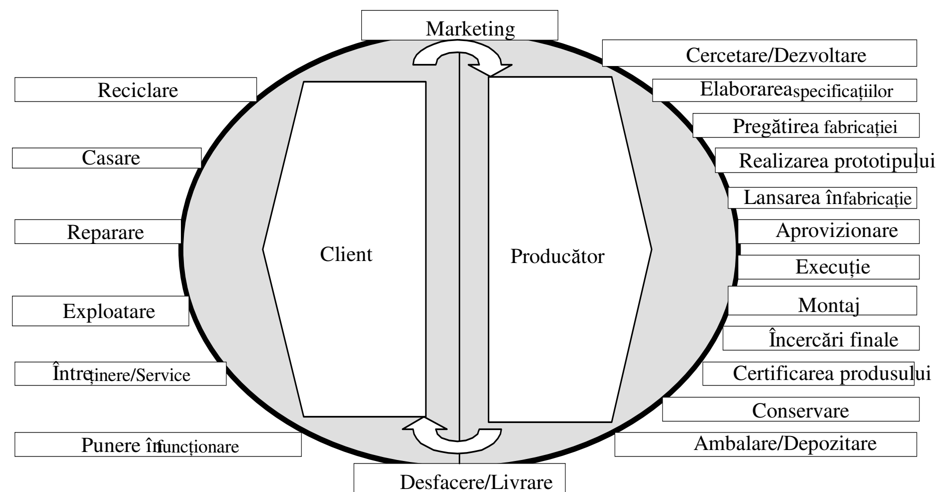


Fig. 16.57. Ciclul de viață al produsului hardware.

- după ceea ce se testează se disting:
  - controlul caracteristicilor fizico-chimice;
  - controlul caracteristicilor mecanice de rezistență;
  - controlul caracteristicilor electro-mecanice;
  - controlul caracteristicilor estetice;
  - controlul caracteristicilor de exploatare;
  - controlul caracteristicilor de mentenanță;
  - controlul caracteristicilor ecologice.
- după modul de inspectare se deosebesc:
  - controlul distructiv: - pe epruvete;
    - pe produse de sacrificiu;
  - controlul nedistructiv.
- după gradul de răspândire a metodei de inspectare se disting:
  - controlul cu metode uzuale;

- controlul cu metode speciale.

Controlul inițial se aplică produselor şi materialelor aprovizionate, înainte de introducerea lor în fluxul de fabricație (procesul de transformare). Sistemul de verificare a produselor trebuie stabilit de comun acord cu furnizorul şi trebuie clar precizat în comanda de aprovizionare. Verificarea produselor şi a materialelor aprovizionate se poate face:

- pe baza sistemului de asigurare a calității care functionează la furnizor (se solicită audituri de sistem sau documente care să certifice performanțele sistemului, evaluări efectuate de organisme independente recunoscute);
- pe baza interpretării înregistrărilor statistice ale controlului proceselor de fabricație;
- inspecție la furnizor înainte de livrare, în prezența reprezentanților beneficiarului;
- inspecție la beneficiar după livrare, în prezența reprentanților furnizorului.

Controlul pe fluxul de fabricație se poate efectua în timpul operațiilor fiind un control în timp real (on-line), care permite reglarea ulterioară a maşinii/procesului, sau între operații (la sfârşitul unei operații). Controlul poate fi efectuat de către:

- operator (autocontrol);
- de către personal calificat (CTC);
- în ciclu automat de către o instalație sau maşină (control automat).

Controlul final se desfăşoară după încheierea tuturor operațiilor de realizare a produsului. Controlul final trebuie să aibă în vedere *percepția globală* pe care clientul o are la contactul cu produsul. Aceasta înseamnă că se va acorda atenție şi *activităților post-producție*, precum: conservarea, ambalarea, depozitarea, manipularea, prezentarea, desfacerea, consilierea, vânzarea, livrarea, instalarea, punerea în funcțiune, întreținerea şi service-ul, care în mod obişnuit vând produsul şi creează *imaginea firmei* pe piață.

Controlul integral presupune verificarea fiecărui produs sau piese în parte, bucată cu bucată. Se poate aplica la recepție, pe flux sau la final. De regulă este deosebit de laborios şi duce la scăderea productivității. Se aplică în producția de serie mică şi unicate şi în cazul produselor a căror siguranță în funcționare este deosebit de importantă (avioane, nave, utilaj chimic, petrolier, nuclear, minier, militar, energetic). Opusul său este *controlul statistic* sau controlul prin eşantionare (selecționare).

Cronologic *controlul statistic* a apărut o dată cu dezvoltarea producției de serie mare şi de masă, în anii '30 în S.U.A., ca răspuns la nevoia de creştere a productivității şi de reducere a costurilor produselor, marcând trecerea la societatea de consum.

W.E. Deming, unul din părinții *calitologiei*, specialist în statistică, afirma în 1944: „În viața reală nu există constante. Există totuşi un sistem cauzal constant. Rezultatele produse de un astfel de sistem cauzal pot varia într-o bandă largă sau, dimpotrivă, îngustă. Pe lângă variație, datele de ieşire ale unui astfel de sistem cauzal prezintă o caracteristică importantă, denumită stabilitate. De ce este nevoie

să se aplice noţiunile de constanţă şi de stabilitate unui sistem cauzal care produce rezultate variabile? Deoarece acelaşi procentaj de rezultate variabile continuă să apară, în cadrul unor limite date, periodic, oră după oră, zi după zi, pe durata de operare a sistemului cauzal. Distibuţia rezultatelor poate fi constantă sau stabilă. Când un proces de prelucrare se comportă ca un sistem cauzal constant, producând rezultate ale inspectţiilor care prezintă stabilitate, se spune că este sub control statistic. Graficul de control arată dacă procesul respectiv se află sau nu în limitele de control."

Controlul statistic trebuie perceput ca un set de instrumente care pot influenţa deciziile manageriale legate de proiectare, producţie şi testare/încercare/inspecţie. Controlul statistic în general necesită cooperarea factorilor de răspundere din aceste trei funcţii importante ale unei firme. De aceea, din acest punct de vedere, controlul statistic trebuie înţeles ca un ajutor managerial important (fig 16.58).

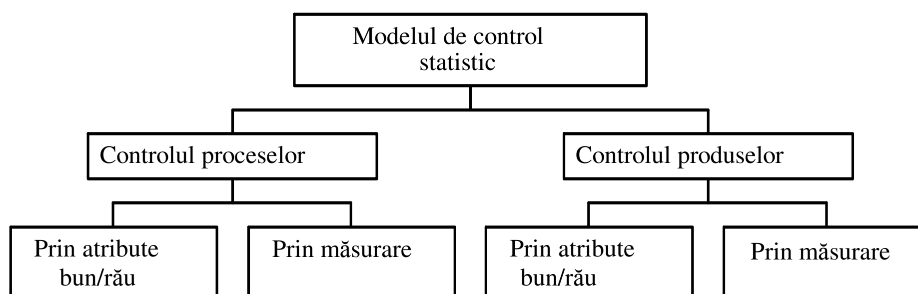


Fig. 16.58. Tipuri de control statistic.

Principalele instrumente de control statistic utilizate în producţie sunt:

- *graficele de control Shewhart pentru caracteristicile de calitate măsurabile*. Acestea pot fi:
  - grafice pentru variabile;
  - grafice pentru medie şi dispersie;
  - grafice pentru media eşantioanelor şi abaterea standard;
- *graficele de control Shewhart pentru fracţiunea respinsă* (graficul p);
- *graficele de control Shewhart pentru numărul de neconformităţi per unitate* (graficul c). Aceste grafice prezintă numărul total de defecte raportat la piesa inspectată. Dacă numărul de neconformităţi pentru o anumită piesă inspectată se situează în afara limitelor de control calculate sau dacă punctele sunt dispuse preferenţial deşi toate se află în limitele de control, atunci procesul se află în afara controlului şi trebuie intervenit pentru a se preveni apariţia defectelor;
- *procedura de eşantionare*.

Conform standardului ISO 8402, *asigurarea calităţii* înseamnă ansamblul de acţiuni planificate şi sistematice, menite a da *încrederea* corespunzătoare că un produs sau serviciu va satisface cerinţele de calitate specificate.

Încrederea este completă numai dacă condiţiile specificate reflectă toate exigenţele utilizatorului. Asigurarea calităţii necesită o evaluare permanentă a

factorilor care influenţează gradul de adecvanţă a proiectului, precum şi verificări şi audituri ale etapelor care alcătuiesc *ciclul de viaţă al unui produs*.

Dacă într-o organizaţie (firmă, companie, întreprindere, fabrică etc.) asigurarea calităţii este folosită ca instrument de lucru al conducerii, aceasta generează *încrederea internă*.

Dacă asigurarea calităţii este folosită în situaţii contractuale, aceasta generează *încrederea externă*.

Din punct de vedere istoric, asigurarea calităţii a apărut ulterior controlului statistic, din necesitatea de a economisi timp şi mijloace. Astfel, dacă într-o organizaţie lucrurile sunt puse la punct şi fiecare membru al său ştie ce are de făcut, dacă produsul *n* este bun, atunci poate să existe încrederea că şi produsul *n*+1 va fi de asemenea bun. Aceasta evoluţie a modului de a privi calitatea şi controlul acesteia a însemnat deplasarea atenţiei de la controlul particular al produsului la controlul general al managementului organizaţiei furnizoare de produse sau prestatoare de servicii.

Asigurarea calităţii poate fi privită şi drept o problemă de imagine a firmei, astfel, orice prezentare a firmei şi a produselor sau serviciilor furnizate de aceasta trebuie să facă referire şi la problematica certificării calităţii (fig 16.59).

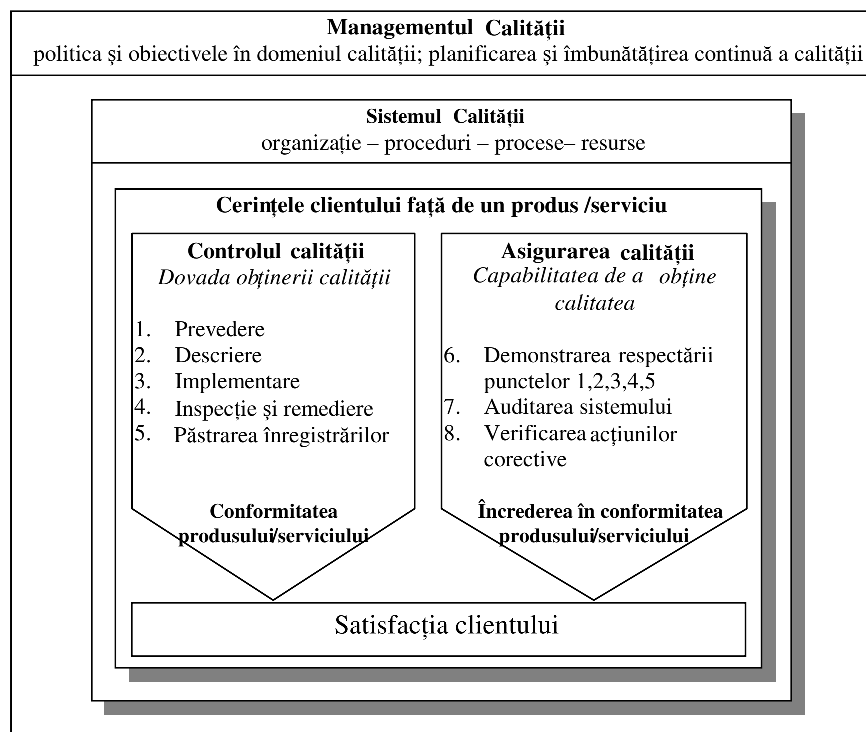


Fig. 16.59. Definirea asigurării calităţii.

Calitatea unui produs sau serviciu depinde în mod fundamental de activitatea de proiectare şi concepţie. Circa 80% din calitatea produsului sau serviciului este

stabilită încă din concepţie. Altfel spus, aptitudinea de a satisface cerinţele exprimate sau subînţelese ale clientului faţă de un produs sau serviciu este dată de proiectant. Numai 20% din calitate mai poate fi influenţată (în bine sau în rău) de execuţie; rezultă, din cele arătate, că de activitatea proiectanţilor depinde succesul sau eşecul pe piaţă al unui produs sau serviciu.

În activitatea de proiectare şi concepţie trebuie inclusă şi stabilirea temei de proiectare prin activităţi de analiză şi de prognoză a pieţei - *marketingul*. Numai dacă au fost identificate corect cerinţele clienţilor şi exigenţele pieţei, precum şi prognozată evoluţia ulterioară a acestora, avându-se în vedere decalajul care există între momentul cererii şi cel al ofertării produsului spre vânzare, se poate trece la activitatea de proiectare propriu-zisă.

Controlul activităţii de proiectare are în vedere supravegherea ciclului de realizare a unui proiect, de la analiza şi formularea cerinţelor pieţei (*datele de intrare* în proiect), până la darea în execuţie a proiectului (*datele de ieşire* din proiectare), aşa cum se vede în figura 16.60. În această activitate trebuie incluse *proiectarea tehnologică* şi *pregătirea fabricaţiei* (selecţionarea procedeelor de fabricaţie, stabilirea parametrilor de proces, stabilirea tehnologiei de control, proiectarea şi realizarea SDV-urilor specifice).

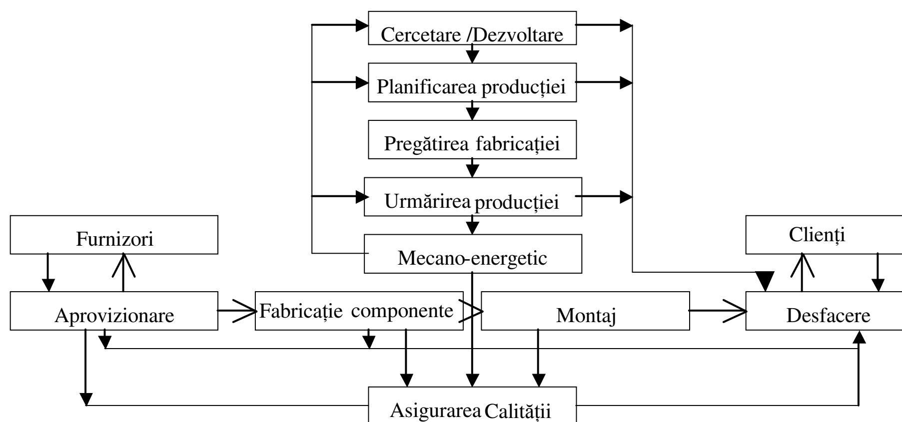


Fig. 16.60. Circuitele asigurării calităţii:
→ fluxul material; → fluxul informaţional.

Supravegherea etapelor proiectării se poate realiza practic în baza unor proceduri specifice, care trebuie să ofere răspuns la următoarele aspecte:

- *planificarea prealabilă a proiectării*; planul de proiectare astfel întocmit trebuie să conţină: identificarea activităţilor de concepţie şi proiectare, precizarea cerintelor de competenţe şi de resurse pentru fiecare activitate, distribuţia responsabilităţilor pentru fiecare activitate;
- *evaluarea şi aprobarea planului de proiectar*e;
- *definirea interfeţelor cu celelalte compartimente* ale firmei, necesare pentru fiecare activitate inclusă în plan;

- *modul de obţinere a datelor de intrare* pentru proiectare;
- *modul de prezentare a datelor de ieşire* din proiectare, necesare pentru execuţie;
- *proiectul trebuie să includă clar specificate*: cerinţele clientului, cerinţele de siguranţă în funcţionare, cerinţele impuse de reglementări legale în vigoare (fig 16.61.);

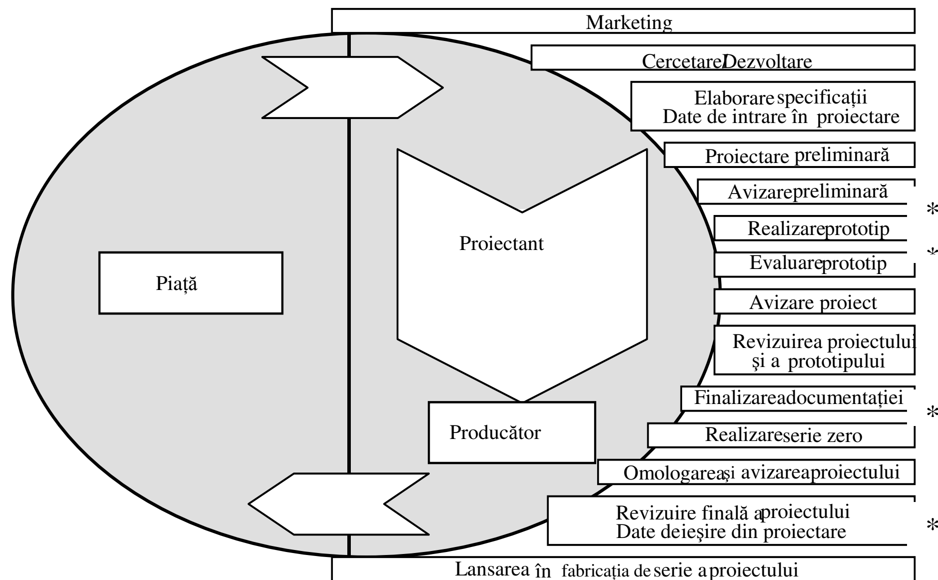


Fig. 16.61.. Ciclul de realizare a unui proiect si momentele de impact asupra mediului (*).

- *modul de verificare şi de avizare a proiectelor*, care să includă drept criterii: usurinţa fabricaţiei (accesibilitatea şi eficienţa utilizării echipamentelor din producţie), precizarea cerinţelor de control împreună cu specificaţiile aferente (evaluarea raportului dintre acestea şi satisfacerea cerinţelor clientului), precizarea cerinţelor de fiabilitate şi de mentenabilitate, prezenţa documentaţiei de utilizare şi de service (fig 16.62.);
- *modul de efectuare a încercărilor de omologare*;
- *modul de verificare a competenţelor* celor implicaţi în realizarea proiectului;
- *modul de efectuare* şi de *avizare a reviziilor proiectului;*
- *modul de actualizare a documentaţiei de execuţie, aflate în producţie*.

În vederea realizării produselor sau serviciilor, orice firmă, întreprindere sau companie trebuie să se aprovizioneze cu o serie de materii prime, materiale, echipamente sau consumabile, ţinând cont de faptul că nu este posibil ca în cadrul uneia şi aceleaşi firme să se realizeze absolut toate produsele de care este nevoie pentru buna desfăşurare a activităţii curente. Majoritatea materialelor aprovizionate contribuie la atingerea nivelului de calitate al produsului finit, de aceea, activitatea de aprovizionare trebuie ţinută sub control (fig 16.63).

Controlul aprovizionării, în conformitate cu standardele ISO 9000, se face prin:

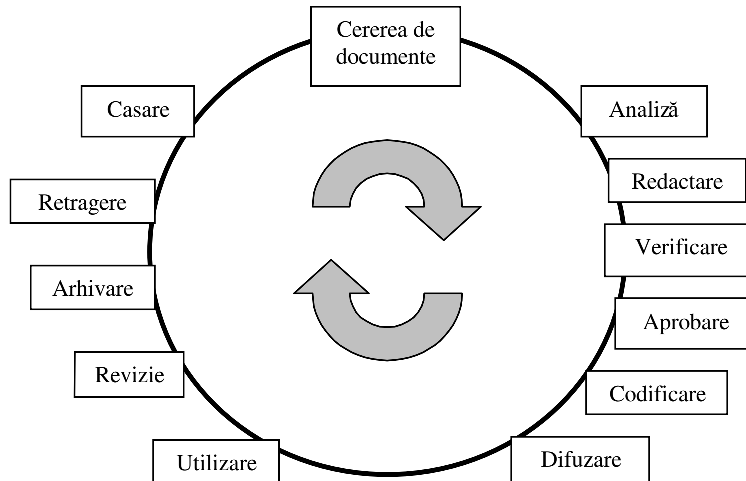


Fig. 16.62. Ciclul de viaţă al documentaţiei.

- *evaluarea şi selecţia subcontractanţilor şi a furnizorilor* (criterii avute în vedere: capabilitatea furnizorilor de a îndeplini cerinţele de calitate impuse produsului sau serviciului; disponibilitatea echipamentelor şi a forţei de muncă; viabilitatea comercială şi financiară; capacitatea de producţie şi modul de respectare a termenelor; eficienţa sistemului de asigurare a calităţii la furnizor);

- însoţirea comenzilor şi contractelor de aprovizionare cu date, specificaţii, proceduri şi desene de execuţie, care să descrie clar produsul sau serviciul comandat, ca şi exigenţele cerute furnizorului;

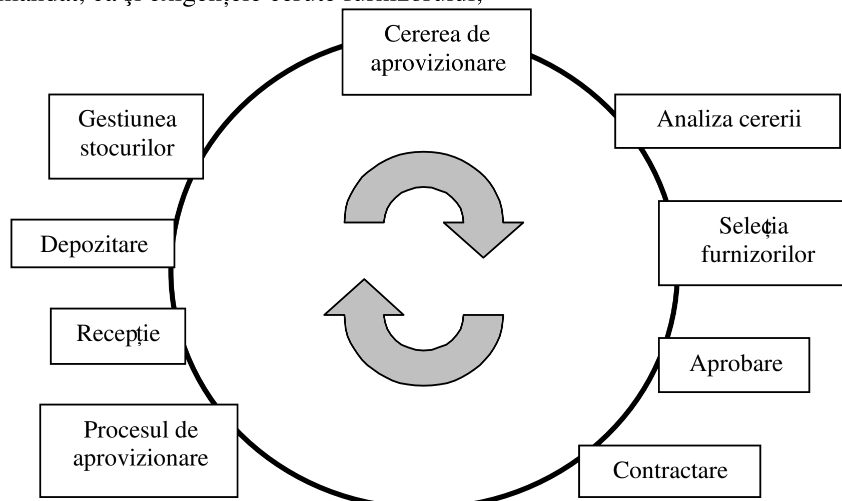


Fig. 16.63. Ciclul de aprovizionare.

- *întocmirea de proceduri referitoare la calitate*, destinate posibililor subcontractanţi sau licitatori în timpul ofertării;

- *analizarea devizelor* prezentate de furnizori din perspectiva calităţii; clarificarea cerinţelor proprii impuse furnizorilor selectaţi şi stabilirea unui acord privind procedurile de asigurare a calităţii;

- *controlul produsului aprovizionat;*

- *asistenţa acordată subcontractanţilor sau furnizorilor* prin: instruire, consultanţă şi SDV-uri;

- *monitorizarea calităţii produsului şi a sistemului de asigurare a calităţii la furnizor;*

- *analizarea performanţelor subcontractanţilor* sau *furnizorilor* după onorarea comenzilor.

Activităţile de producţie cuprind fabricaţia componentelor şi montarea acestora. Prin aceste activităţi se realizează fizic produsul proiectat în prealabil.

Asigurarea calităţii în producţie include următoarele aspecte:

- stabilirea capabilităţii proceselor tehnologice;
- inspectarea şi supravegherea proceselor tehnologice;
- încercarea produselor în diferite faze importante;
- controlul proceselor de fabricaţie;
- întreţinerea, calibrarea şi gestionarea echipamentelor (utilaje, maşini şi instalatii de proces, SDV-uri şi AMC-uri);
- identificarea, trasabilitatea şi gestionarea materialelor şi a produselor;
- controlul şi supravegherea utilităţilor (apă, aer comprimat, gaz, energie electrică) şi a factorilor de mediu (temperatură, umiditate, viteza relativă a aerului, curăţenie, zgomot, vibraţii, iluminat, noxe, radiaţii);
- analiza şi controlul produselor neconforme;
- controlul documentelor.

Monitorizarea producţiei cuprinde:

- controlul intrărilor (materii prime şi materiale, utilităţi, factori de mediu, informaţii);
- controlul circuitului productiv (identificarea materilor prime, a pieselor şi a documentelor);
- controlul echipamentelor de lucru;
- monitorizarea feed-back-ului în scopul îmbunătăţirii procesului.

În fluxul de producţie trebuie stabilite *puncte de control*, alese astfel încât să se obţină minimizarea efectelor erorilor şi creşterea *eficienţei proceselor*.

Încercările finale sunt deosebit de importante, întrucât de rezultatul lor (stabilirea măsurii în care produsul este conform cu specificaţiile) depinde *eliberarea produsului în vederea comercializării*. La testele finale trebuie să se ia în considerare, pe de o parte, reglementările privind *răspunderea juridică asupra produsului fabricat sau comercializat*, iar, pe de altă parte, *totalitatea înregistrărilor calităţii* efectuate anterior (înregistrările efectuate de furnizor, inspecţiile de recepţie, cele de pe fluxul de fabricaţie etc.). Pe baza datelor culese anterior, susţinute de dovezi credibile (supervizate de compartimentul de asigurare a calităţii), volumul inspecţiilor finale poate fi redus la minimum, acestea fiind

completetate de toate celelalte inspectii premergatoare efectuate asupra materiilor prime, componentelor sau subansamblurilor produsului respectiv (fig 16.64).

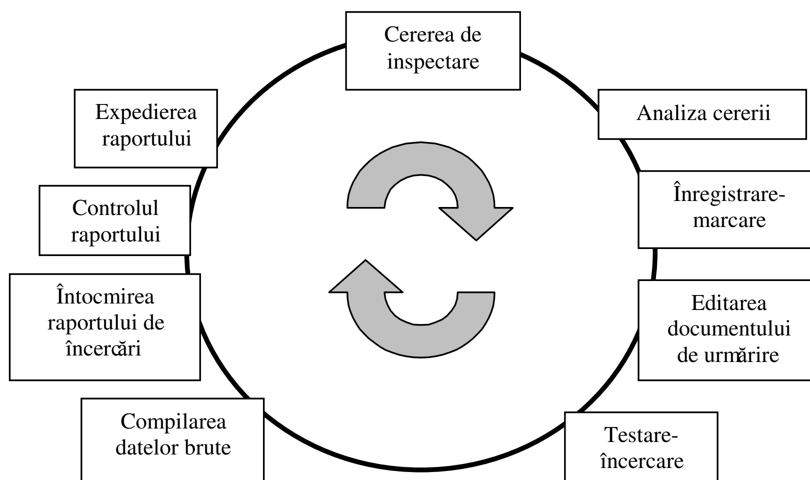


Fig. 16.64. Ciclul de inspecție-testare.

Aceste activități cuprind de regulă: *conservarea*, *ambalarea*, *manipularea*, *depozitarea*, *identificarea*, *montajul* şi *punerea în funcțiune* a unor produse fabricate anterior. Acestor activități trebuie să li se acorde o importanță la fel de mare ca şi celor legate nemijlocit de realizarea produselor; un produs conform cu specificațiile poate fi compromis prin nişte activități post producție necorespunzătoare.

Conservarea are ca scop menținerea caracteristicilor produsului după fabricare şi până la punerea în funcțiune, pe parcursul manipulării, depozitării, transportului, livrării şi montajului. Conservarea trebuie să asigure; protecția contra coroziunii, protecția calității suprafețelor contra zgârierii, protecția contra deformării, spargerii, fisurării, lovirii, căderii, răsturnării, trântirii, ori strivirii accidentale a produsului. Un rol important în conservarea produsului revine ambalajului. În cazul produselor sensibile trebuie să se prevadă specificații privind conservarea, ambalarea, transportul, manipularea.

Ambalarea joacă un rol important, atât în conservarea produsului, cât şi în atractivitatea acestuia față de client. Trebuie avut în vedere că primul contact al clientului cu produsul se face prin intermediul ambalajului, de atractivitatea acestuia depinzând în mare măsura vânzarea produsului.

Ambalajul trebuie să asigure:

- protecția produsului (ambalajul trebuie să fie suficient de solid, rezistent la factorii de mediu şi la modul de transport şi manipulare);

- să faciliteze transportul şi manipularea produsului fără a-l deteriora (ambalajul trebuie să se încadreze în nişte forme şi dimensiuni tipizate, care corespund tipului de transport utilizat: europalete, transcontainere, cărucioare, elevatoare etc.);

- ambalajul trebuie să aibă marcat la loc vizibil semnele convenţionale corespunzătoare instrucţiunilor de transport, manipulare şi depozitare;
- să ofere informaţii suficiente asupra produsului;
- să atragă clientul (ambalajul se alege în raport cu piaţa de desfacere şi tradiţia cu care sunt obişnuiţi clienţii);
- să se înscrie într-un *circuit de protecţie a mediului* (reciclare, recuperare, refolosire a materiale biodegradabile, nepoluante).

Identificarea este necesară pentru a se putea localiza produsul şi a se determina traseul acestuia. Marcajele şi etichetele trebuie să fie uşor lizibile şi durabile. Între controlul final al produselor şi livrarea la beneficiar marcajul trebuie să se păstreze, astfel încât să se permită oricând o inspecţie suplimentară. Marcajul apare obligatoriu, atât pe ambalaj, cât şi pe fiecare produs în parte. Adeseori, identificarea corespunzătoare a produsului este indispensabilă pentru operaţiile de întreţinere, service în garanţie şi post garanţie, precum şi la supravegherea în exploatare. Pentru produsele exportate sau importate, este necesară redactarea marcajelor în limba clientului.

Manipularea produselor trebuie specificată în documentele însoţitoare ale produselor şi pe ambalaj, de regulă, prin semne convenţionale, recunoscute internaţional. Manipularea se face manual în cazul produselor de dimensiuni mici, uşoare, ambalate individual sau în colete mici şi mecanizat în celelalte cazuri. Pentru a nu se deteriora produsele, este necesar ca să se respecte cu stricteţe indicaţiile furnizorului şi ca să existe dotarea corespunzătoare (cărucioare, vagoneţi, electrocare, stivuitoare, lize, electropalane, macarale, poduri rulante etc.)

Depozitarea are drept scop: echilibrarea cantităţilor sau a sortimentelor livrate, concilierea termenelor între momentul ofertei şi cel al onorării cererii, echilibrarea diferenţelor dintre diversele secţii de producţie etc.

Din punct de vedere al asigurării calităţii, depozitarea trebuie să asigure:

- protecţia produselor;
- condiţii favorabile de recepţie şi de expediere a produselor;
- urmărirea produselor perisabile;
- controlul rotirii stocurilor;
- controlul substanţelor periculoase.

Montajul produsului la beneficiar trebuie să asigure:

- funcţionarea produsului la parametrii şi în condiţiile stabilite de producător;
- menţinerea performanţelor produsului;
- furnizorul trebuie să asigure instrucţiuni scrise pentru montaj (în caietul de sarcini);
- în cazul unor produse complexe, furnizorul trebuie să asigure echipe specializate pentru montaj la sediul beneficiarului;
- proiectantul produsului trebuie să aibă în vedere adoptarea acelor soluţii contructive care să prevină montajul incorect.

Punerea în funcţiune, întreţinerea şi activitatea service. Asigurarea calităţii acestor activităţi şi, implicit, a produsului trebuie să aibă în vedere (fig 16.65):

- evidenţa intervenţiilor;

- gestiunea şi supravegherea metrologică a AMC-urilor şi a SDV-urilor utilizate la depanare;
- folosirea de piese de schimb originale, noi;
- personal de intervenţie calificat (în unele cazuri acesta trebuie să fie şi certificat în specialitate);
- întocmirea de proceduri de analiză şi diagnosticare a defectelor produselor aflate în service;
- monitorizarea produselor vândute, atât a celor aflate în garanţie, cât şi post garanţie;
- supravegherea şi gestionarea eficientă a circuitului informaţional (sesizările clienţilor şi observaţiile depanatorilor să ajungă cât mai rapid la proiectantul produsului, în vederea îmbunătăţirii proiectului şi a tehnologiilor de execuţie şi testare).

În triada *producător-client-service* producătorul este răspunzător pentru asigurarea fiabilităţii şi mentenabilitatii produsului, utilizatorul pentru folosirea optimă a produsului cumpărat, iar service-ul este răspunzător pentru menţinerea capabilităţii produsului. Împreună, toţi îşi aduc contribuţia la asigurarea şi menţinerea calităţii produsului (fig. 16.65).

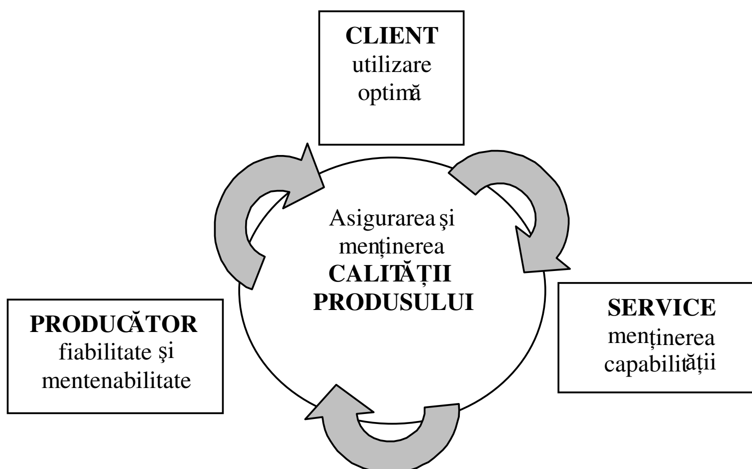


Fig. 16.65. Triada producător-client-service.

Specific produselor materiale sunt proprietăţile funcţionale. Acestea sunt definite ca suma de relaţii care se stabilesc între materialul din care este confecţionată piesa şi fenomenele din mediul în care se găseşte sau funcţionează piesa respectivă. Proprietăţile funcţionale pot fi relativ uşor măsurabile, iar gradul în care acestea satisfac cerinţele impuse prin prescripţiile tehnice de execuţie exprimă tocmai *nivelul de calitate* al produsului respectiv.

Metodele de inspectare distructiva sunt utilizate pentru determinarea unor proprietăţi ale materialelor din care sunt confecţionate piesele. În majoritatea cazurilor sunt utilizate piese de probă, numite *epruvete*, care sunt eşantioane

prelevate din materialul pieselor respective. Epruvetele au o anumită mărime şi formă, care sunt standardizate, astfel încât să permită interpretarea corectă a rezultatelor încercării. Prelevarea epruvetelor se poate face: fie din deşeurile rămase de la prelucrarea piesei respective, din mostrele extrase la elaborarea materialului, din probe executate o dată cu fabricarea piesei respective sau din piese de sacrificiu.

Excepţie de la cazurile în care sunt utilizate epruvete fac încercările de *anduranţă*, caz în care sunt utilizate piese, subansamble, maşini sau aparate reale, în condiţii de funcţionare reale sau simulate, încercările desfăşurându-se pe standuri de probă, în poligoane sau pe piste de încercare (de exemplu: testarea motoarelor, a autovehiculelor, a aeronavelor, a prototipurilor etc.).

Întrucât principalele metode de inspectare distructivă sunt cunoscute, în prezentul capitol sunt doar reamintite (tab. 16.23.) fiind detaliate numai *încercările de mediu*.

Tabelul 16.23. **Metode de inspectare distructivă.**

Nr. crt.	**Grupa/Destinaţia**	**Denumirea**	**Descriere in Tratat de tehnologia Materialelor**
1	Încercări de determinare a caracteristicilor fizico-chimice	determinarea compoziţiei chimice	2.4.1.
		determinarea microstructurii	2.4.2.
		determinarea macrostructurii	2.4.2.
		determinarea proprietăţilor fizice (chimice, magnetice, electrice, optice, acustice, nucleare, cuantice, mecanice etc.)	2.4.3.1.
2	Încercări de rezistenţă mecanică	încercarea la rupere (tracţiune, compresiune, încovoiere, torsiune, forfecare)	2.4.3.3.a.-e.
		încercarea la oboseală	2.4.3.3.h.
		încercarea la fluaj	2.4.3.3.i.
		încercarea la încovoiere prin şoc	2.4.3.3.g.
		determinarea durităţii	2.4.3.3.f.
		încercări tribologice	-
3	Încercări de rezistenţă la acţiunea mediului	testarea la coroziune	2.4.3.1.
		testarea la iradiere	-
4	Încercări tehnologice	determinarea turnabilităţii	2.4.4.1.
		determinarea deformabilităţii	2.4.4.2.
		determinarea aşchiabilităţii	2.4.4.3.
		determinarea sudabilităţii	2.4.4.4.
		determinarea călibilităţii	2.4.4.5.
5	Încercări funcţionale	încercări de prototip	-
		teste de anduranţă	-

Încercările de mediu sunt destinate să demonstreze că o probă este aptă să reziste şi să funcţioneze în condiţii de mediu determinate. Încercările se pot face fie

prin expunerea produsului la condițiile de mediu respective (reale sau simulate), fie prin testarea produsului la efectele condițiilor de mediu. Reproducerea fidelă a condițiilor reale de mediu este practic imposibilă, iar, de cele mai multe ori, condițiile reale de utilizare ale produsului nu sunt complet cunoscute. Din aceste cauze încercările climatice sunt accelerate, prin creşterea solicitărilor reale. Principalele efecte ale factorilor de mediu sunt trecute în revistă în tabelul 16.24.

Tabelul 16.24. **Efectele factorilor de mediu luați separate.**

Factorul de mediu		**Efecte**	**Defecte rezultate**
Temperatura	scăzută	Fragilizare; Formarea gheții ; Creşteri de vâscozitate, solidificare; Pierderea rezistenței mecanice; Contracții fizice	Defecte ale izolațiilor, fisurări, defectări mecanice, creşterea uzurii părților mobile, defecte ale etanşărilor şi armăturilor
	ridicată	Îmbătrânire termică, oxidare; fisurare, reacții chimice; Înmuiere, topire, sublimare; Reducerea vâscozității, evaporare; Dilatare	Defecte ale izolațiilor, defectări mecanice, creşterea tensiunilor mecanice, uzura părților mobile datorită dilatării sau pierderii proprietăților lubrifiante
	variații rapide	Şoc termic Încălziri diferențiate	Defecte mecanice, fisuri, crăpături, deteriorarea garniturilor, scurgeri
Presiune	scăzută	Dilatare Scăderea rigidității dielectrice a aerului Efluvii electrice, formare de ozon Reducerea răcirii	Degradări mecanice, crăpături, defecte de etanşeitate, supraîncălziri
	ridicată	Compresiune, deformare	Degradări mecanice, fisurare, defecte de etanşeitate
Umiditate relativă	scăzută	Pierderea apei Fragilizare Pierderea rezistenței mecanice Contracție Creşterea abraziunii între contactele mobile	Degradări mecanice, fisurare
	ridicată	Absorbția şi adsorbția de umiditate, umflare, pierderea rezistenței mecanice, reacții chimice, coroziune, electroliză, creşterea conductivității izolanților	Rupturi, defecte ale izolațiilor, degradări mecanice
Radiație solară		Reacții chimice şi fotochimice Deteriorarea suprafeței Fragilizare Decolorare, formare de ozon, Încălzire, încălzire diferențiată şi tensiuni mecanice	Defecte ale izolațiilor, similar cu temperatura ridicată

Tabelul 16.24. **(continuare)**

Atmosferă corozivă	Reacţii chimice, coroziune, electroliză Deteriorarea suprafeţei Creşterea conductivităţii Creşterea rezistenţei de contact	Creşterea uzurii, defecte mecanice, defecte electrice
Praf şi nisip	Uzură, eroziune, ancrasări Depuneri de materiale Deteriorarea suprafeţei	Creşterea uzurii, defecte mecanice, defecte electrice
Vânt	Aplicarea unor forţe Uzură, eroziune, ancrasări Depuneri de materiale Inducerea de vibraţii	Deformări de structură, degradări mecanice
Ploaie	Absorbţie de apă Şoc termic Eroziune, coroziune	Defecte electrice, fisurare, crăpături, deteriorarea suprafeţei
Grindină	Eroziune Şoc termic Deformare mecanică	Deformarea structurii, deteriorări ale suprafeţelor
Zăpadă, gheaţă	Solicitări mecanice Absorbţie de apă Şoc termic	Deformarea structurii, eroziune, coroziune
Ozon	Oxidare rapidă Fragilizare, scăderea rigidităţii dielectrice a aerului	Defecte electrice, defecte mecanice, ruperi, fisuri
Acceleraţii, vibraţii, şocuri	Tensiuni mecanice, uzură Rezonanţă	Defecte mecanice, creşterea uzurii părţilor mobile, deformarea structurii
Iradiere	Ionizarea materialelor Deplasarea atomilor din reţeaua cristalină Efecte termice	Scăderea proprietăţilor mecanice, scăderea conductivităţii electrice şi termice
Mucegaiuri	Scăderea caracteristicilor mecanice Modificări ale proprietăţilor fizice Îmbătrânirea materialului de bază	Deteriorarea izolaţiei, variaţia proprietăţilor electrice, defecte mecanice

Metodele de inspectare nedistructiva prezintă avantajul că aplicarea lor nu afectează caracteristicile produsului inspectat. Din această cauză, ele au o largă răspândire în toate ramurile economice: industrie, construcţii, agricultură, cercetare (tab. 16.25).

Tabelul 16.25. **Metode de inspectare nedistructivă.**

Nr. crt.	**Grupa/Destinaţia**	**Utilizare**	**Denumirea**	**Descriere in Tratat de Tehnologia Materialelor**
1.	Diagnoza externă a pieselor	determinarea culorii	controlul optico-vizual controlul colorimetric	- -
		determinarea rugozităţii	controlul optico-vizual	1.2.3.2.d

***Tabelul 16.25.* (continuare)**

		determinarea formei şi a volumului determinarea defectelor de suprafaţă	controlul dimensional	1.2.3.2.a-c
			controlul holografic	2.4.5.6
			controlul prin cântărire	-
			controlul optico-vizual	-
			controlul cu radiaţii penetrante	2.4.2.2.a
			controlul cu ultrasunete	2.4.2.2.b
			controlul cu pulberi magnetice	2.4.2.2.c
			controlul cu lichide penetrante	2.4.2.2.d
			controlul prin curenţi turbionari	2.4.5.1
			controlul tomografic	2.4.5.3
			controlul termografic	2.4.5.4
			controlul cu microunde	2.4.5.5
			controlul holografic	2.4.5.6
2.	Diagnoza internă a pieselor	determinarea defectelor interne	controlul cu radiaţii penetrante	2.4.2.2.a
			controlul cu ultrasunete	2.4.2.2.b
			controlul cu pulberi magnetice	2.4.2.2.c
			controlul cu lichide penetrante	2.4.2.2.d
			controlul prin curenţi turbionari	2.4.5.1
			controlul tomografic	2.4.5.3
			controlul termografic	2.4.5.4
			controlul cu microunde	2.4.5.5
			controlul holografic	2.4.5.6
3.	Prognoza piesei (durată de viaţă, comportare în funcţionare)	determinarea descriptorilor calităţii (durabilitate, fiabilitate, capabilitate, disponibilitate, mentenabilitate, operabilitate, siguranţa în funcţionare)	modele fizice şi matematice de descriere şi evaluare calitativă şi cantitativa a cauzelor şi efectelor defectelor	-
			modele statistice	-
			metode previzionale (AMDEC, arborele de defectare)	-

În producţia de serie se preferă utilizarea metodelor de inspecţie nedistructivă integrate în *sisteme automate de inspecţie*, care au avantajul scurtării timpului neproductiv, în condiţii de fiabilitate ridicată a controlului.

Un sistem automat de inspecţie poate utiliza una sau mai multe metode de inspectare nedistructivă, care sunt dezvoltate în funcţie de cazul concret al aplicaţiei (fig 16.66.).

Piesa este inspectată cu ajutorul unor *senzori* specifici metodei de control (*optico-vizual*, *emisie acustică*, *ultrasunete*, *radiaţii penetrante* etc.), semnalul este preluat şi prelucrat, este comparat cu *semnalul de referinţă* (memorat în prealabil în

banca de date de referință) şi se comandă *dispozitivele de sortare a pieselor*, în raport cu *verdictul controlului*. Rezultatul este memorat, în vederea prelucrării în continuare a rezultatelor controlului şi optimizării procesului care a generat piesele

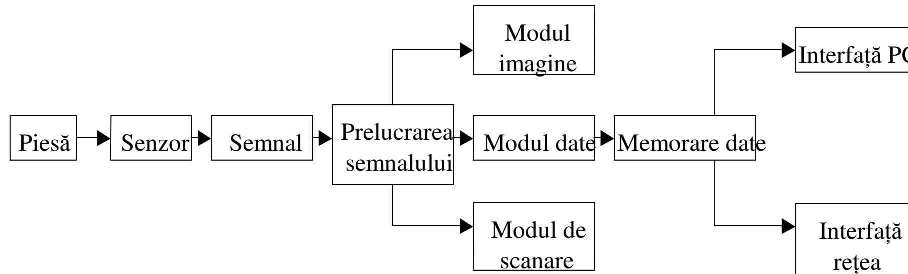


Fig. 16.66. Schema bloc a unui sistem de inspecție automat.

inspectate. Metodele de inspectare a produselor cu suport material (software) sunt definite de metodele prezentate mai sus.

Specific acestor produse este lipsa unui material din care este confecționat produsul, materialul acestuia având numai rolul de suport. În acest caz, prin testarea unor proprietăți ale materialului suport nu pot fi trase concluzii asupra proprietăților funcționale ale produsului şi, în consecință, nici asupra nivelului calitativ al produsului respectiv (fig 16.67).

În aceste situații, se recurge la *controlul preventiv*, prin punerea la punct în detaliu a cadrului de desfăşurare a producției, astfel încât, prin controlul tehnico-organizatoric al fiecărei etape de realizare a produsului, adică a întregului proces de realizare a produsului, să fie prevenită apariția produselor neconforme (similar cu controlul activitatii de proiectare şi a se vedea asigurarea calitatii în proiectare).

Conform standardului SR ISO 9000-3 din 1995 *Ghid pentru aplicarea* ISO 9001 *la dezvoltarea, livrarea şi mentenanța software-ului*, sunt definite următoarele elemente:

- *software:* creație intelectuală care cuprinde programe, proceduri, reguli şi orice documentație asociată referitoare la funcționarea unui sistem de prelucrare a datelor; un software este independent de suportul pe care este înregistrat;
- *produs software:* ansamblul complet format din programe, proceduri şi documentația asociată pentru calculator, precum şi datele destinate să fie livrate unui utilizator;
- *verificare* (pentru software): procesul de evaluare a produselor aflate într-o fază dată, pentru a se asigura precizia şi compatibilitatea față de produsele şi standardele furnizate ca date de intrare pentru această fază.

Pentru servicii sunt metode de inspectare specifice serviciilor.

Serviciile pot fi definite ca rezultate ale activităților desfăşurate la *interfața client/furnizor*, precum şi alte altor activități interne ale furnizorului, destinate satisfacerii cerințelor clientului. Inițial, termenul de servicii includea numai acele activități defăşurate la interfața dintre client şi prestator; însă, o dată cu impunerea managementului calității totale în cadrul firmelor, diversele compartimente

funcționale ale acestora au început a fi tratate independent, conform principiului ,,next process is a consumer” (următorul proces pe fluxul tehnologic este un consumator/client). O cale de viabilizare a firmelor integrate este externalizarea unor servicii, fapt ce conduce la lărgirea gamei de servicii oferite pe piață.

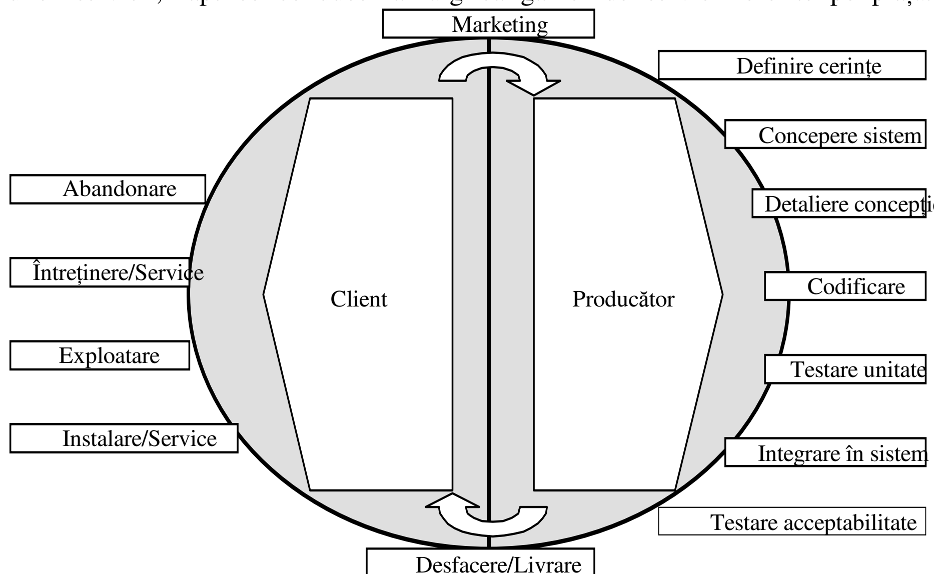


Fig. 16.67. Ciclul de viață al produsului software.

Pot exista servicii independente, furnizate ca atare, sau dependente de un anumit produs, pe care îl însoțesc (în acest caz serviciile completează atractivitatea produsului pentru piață).

Deosebirile dintre un produs şi un serviciu pot fi enunțate astfel:

- *imaterialitatea şi intangibilitatea*: serviciului nu i se pot asocia caracteristici obiective palpabile, imaginea serviciului este subiectivă;

- *multiciplitatea:* serviciul presupune mai multe etape diferite sau complementare, care concură la ofertarea serviciului;

- *perisabilitatea în timp*: produsul este durabil, în timp ce serviciul este furnizat (prestat) la un anumit moment; se consideră că producerea şi consumul serviciului se fac simultan.

- *variabilitatea*: serviciul depinde în mare măsură de competența, experiența, conştiinciozitatea, probitatea morală şi renumele prestatorului;

- *integrarea clientului*: clientul participă la producerea şi consumarea servi-ciului în mod direct (servicii de sănătate, de educație şi de instruire, de cosmetică şi coafură, de *fitness*, masaj, *body-building*) sau indirect (alimentație publică, turism, servicii bancare, administrație, servicii IT, servicii de întreținere şi reparații, servicii de transport, încărcare-descărcare, curățenie-menaj etc.).

În industrie pot fi identificate următoarele tipuri de servicii, corespunzătoare compartimentelor funcționale ale unei întreprinderi, conform tabelului 16.26. Se poate observa că unele dintre servicii însoțesc produsul,

facilitând realizarea (proiectarea şi execuţia) sau vânzarea acestuia, iar altele se referă la buna funcţionare a firmei şi la relaţiile ei cu mediul extern (acţionari, clienţi, comunitate locală, furnizori, stat şi societate).

Tabelul 16.26. **Tipuri de servicii existente in industrie.**

Nr. crt.	Tipul serviciului	Denumirea serviciului
1	Servicii de marketing	Analiza pieţei Chestionare clienţi Reclamă
2	Servicii de proiectare	Documentare Editare Redactare Distribuţie Arhivare
3	Servicii manageriale	Consultanţă Secretariat Protocol
4	Servicii în producţie	Transport Deservire maşini, utilaje, locuri de muncă Întreţinere maşini, utilaje, locuri de muncă Asistenţă tehnică în execuţie Menţinerea curăţeniei Asigurarea utilităţilor Depozitare
5	Servicii post-producţie	Transport; Depozitare
6	Servicii de aprovizionare	Selectare furnizori Asistenţă furnizori Transport, livrare, recepţie
7	Servicii de desfacere	Vânzări Asistenţă clienţi Transport, livrare
8	Servicii post-desfacere	Punere în funcţiune Instruire şi asistenţă clienţi Urmărire reclamaţii şi sesizări Întreţinere Service
9	Servicii comerciale	Contractare Facturare
10	Servicii financiar-contabile	Controlling Urmărirea producţiei şi a stocurilor Gestiune fonduri fixe Gestiune fonduri circulante Normarea muncii Urmărirea costurilor
11	Servicii administrative şi de personal	Selecţia şi angajarea personalului Scolarizare/perfecţionare personal Protecţia muncii Asistenţa socială
12	Servicii de asigurare a calităţii	Urmărirea costurilor calităţii Audituri Controlul documentelor Asistenţa de specialitate

***Tabelul 16.26.* (Continuare)**

13	Servicii de control	Încercări finale Recepție materiale Încercări pe flux Control statistic Control documente şi înregistrări
14	Servicii de consultanță	Studii de fezabilitate Studii de marketing

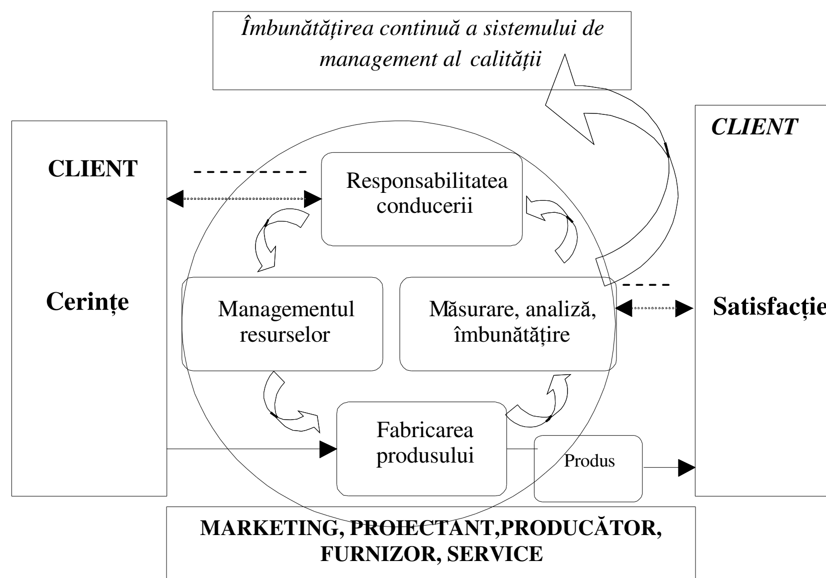


Fig. 16.68.. Abordarea calității serviciului din perspectiva procesului de bază: —→activități care adaugă valoare serviciului; – →fluxul informațional.

În majoritatea cazurilor, controlul caracteristicilor serviciului şi ale prestării acestuia poate fi realizat numai prin controlul procesului de prestare a serviciului (tab.16.27). Desfăşurându-se la interfața client/furnizor, orice neconformitate (abatere de la calitatea prescrisă) este imediat şi nemijlocit sesizată de către client. Din această cauză, măsurarea şi controlul procesului sunt absolut esențiale (controlul pe flux şi nu controlul final).

***Tabelul 16.27.* Abordarea serviciului din perspectiva procesului.**

Tipul serviciului	Intrări	Elementele serviciului	Funcția	Rezultate
Spital	Pacienți	Medici, asistenți medicali, infirmieri, medicamente, echipamente, infrastructură	Tratament şi vindecare	Persoane sănătoase
Restaurant	Clienți	Alimente, băuturi, ospătari, picoli, ambianță	Servitul mesei, odihna	Clienți satisfăcuți

Tabelul 16.27. **(continuare)**

Universitate	Studenți	Profesori, material didactic, publicații, cursuri, seminarii, săli de curs, laboratoare, biblioteci, cămine, cantine	Dobândirea de competențe și exercițiu, formarea profesională	Persoane educate, competente
Magazin	Clienți	Expunere, bunuri, vânzători	Atragerea clienților, desfacerea produselor	Clienți satisfăcuți

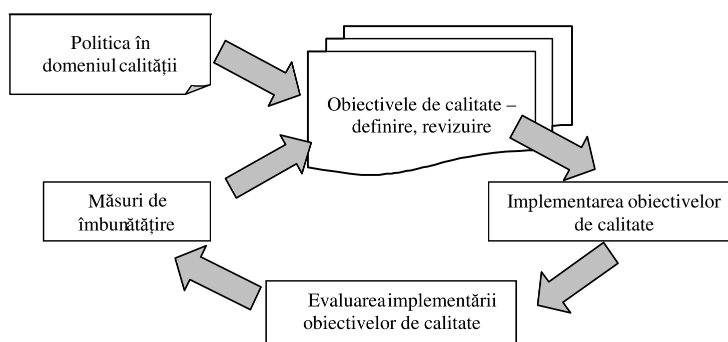


Fig. 16.69. Armonizarea cerințelor de calitate cu cererea pieței.

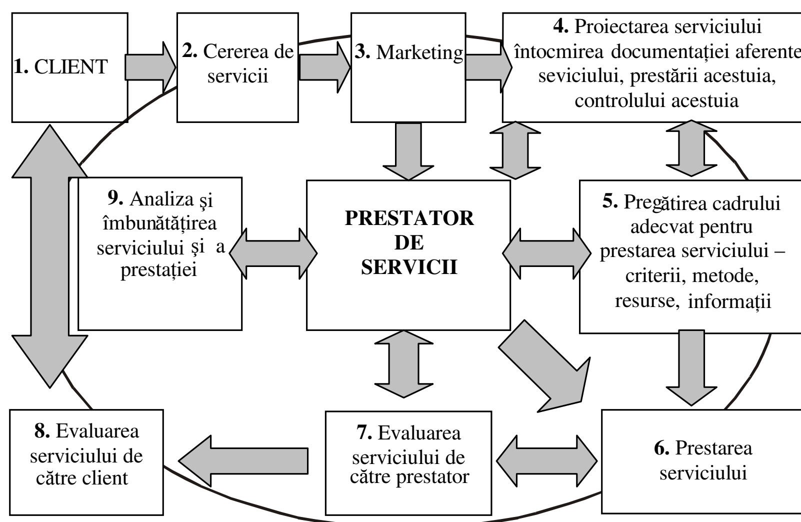


Fig. 16.70. Abordarea calității serviciului din perspectiva buclei calității serviciului.

Când se tratează despre calitate și controlul/inspecția acesteia, trebuie mai întâi să se răspundă la următoarele cinci întrebări:

- ce se inspectează ?
- când se inspectează?
- cum se inspectează (după ce procedură, în raport cu care specificații, cu ce mijloace de lucru)?

- care sunt unitățile de măsură folosite ?
- care sunt criteriile de acceptare/respingere?

În scopul eficientizării proceselor de control, tehnologul trebuie să aibă în vedere următoarele:

- proiectantul trebuie să specifice în documentația de execuție *zonele*

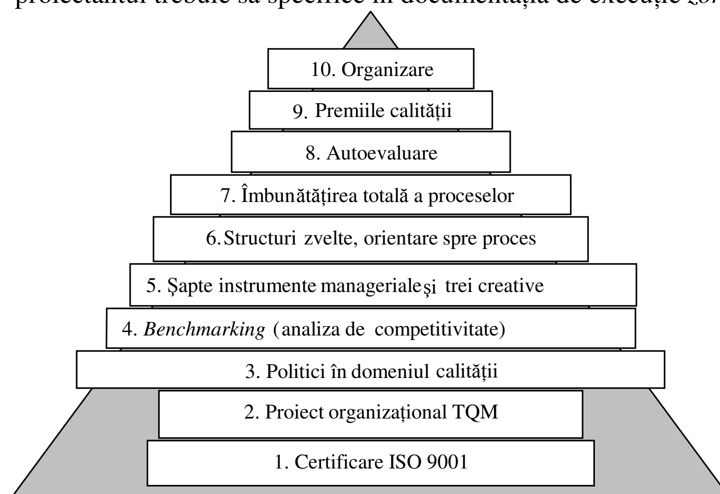


Fig. 16.71. Treptele spre excelență.

produsului care sunt critice pentru obținerea calității;

- inspecția să se *limiteze* la acele zone ale produsului care sunt critice pentru calitate;
- cu precădere se va verifica existența *defectelor tipice* induse de procedeele tehnologice utilizate la fabricarea produsului;
- controlul să fie *fracționat*, adică să se inspecteze de fiecare dată numai acele caracteristici ale produsului care au fost create sau modificate la operația tehnologică curentă;
- *productivitatea controlului* trebuie să se încadreze în productivitatea de execuție a produsului respectiv;
- *mijloacele de control* trebuie alese astfel încât să poată verifica mărimea abaterilor specificate;
- rezultatele procesului de control trebuie să se concretizeze în *valori calitative şi cantitative* care se înscriu într-un document de înregistrare (buletin de măsurători);
- documentul de înregistrare trebuie să asigure *trasabilitatea*, adică identificarea sigură a produsului, a executantului şi a mijloacelor utilizate, precum şi a momentului la care s-au efectuat înregistrările.

In mod asemantor, s*pecificațiile* răspund la întrebările:

- ce se verifică;
- în raport cu ce date de referință;
- care sunt toleranțele admise;
- care sunt criteriile de defect admisibil.

Specificațiile sunt proprii unui produs sau familii de produse. Specificațiile pot fi sub forma unor norme tehnice de ramură, norme interne, caiete de sarcini, desene de execuție, desene de montaj, specificații contractuale etc.

Pe baza specificațiilor se întocmeşte *tema de inspecție*, care include indicatorii de calitate care trebuie verificați, valorile de referință, momentul inspecției, condițiile de încercare, caracterul producției.

Tehnologia de control se întocmeşte ținând seama de tema de inspecție.

Controlabilitatea produsului este un concept asemănător tehnologicității, ce exprimă măsura în care proiectantul şi tehnologul produsului au ținut seama la elaborarea proiectului constructiv şi a specificațiilor aferente, de uşurința verificării datelor de execuție, a conformițății produsului şi a componentelor sale. Controlabilitatea produsului se realizează practic prin controlabilitatea proiectului şi a tehnologiei de control şi execuție.

Controlabilitatea produsului trebuie să cuprindă:

- înscrierea în documentație a clasificării defectelor/erorilor induse de tehnologiile de execuție, montaj şi control;
- capacitatea de verificare a specificațiilor;
- întocmirea planului de control în acord cu tehnologia de execuție şi montaj;
- definirea organizării şi conducerii fabricației.

Metoda de inspectare se alege în raport de tema de inspectare, de dotarea tehnică disponibilă, de criterii de eficiență şi de productivitate. Pentru încercările de tip sau lot, în funcție de specificații, pot fi utilizate metode de testare distructivă pe epruvete sau produse de sacrificiu (tabelul 14.1); pentru controlul integral sau cel statistic se utilizează metode de testare nedistructivă (tabelul 14.2).

Frecvent, în producția de serie, se utilizează dispozitive de control la temă (calibre limitative) sau standuri de probă, care simulează funcționarea reală a produsului.

Proiectarea acestor mijloace dedicate de control se face în colaborare cu tehnologul prodususului, ca parte integrantă a pregătirii fabricației – realizarea SDV-urilor (scule, dispozitive, verificatoare) şi a AMC-urilor (aparatură de măsură şi control).

Procesele de control şi inspecție trebuie planificate corespunzător cerințelor formulate în specificații. În cazul în care se lucrează într-un sistem de competență ridicată (certificare ISO 9001-9003 sau similar), trebuie să existe *proceduri* detaliate de control, testare, inspecție. Nivelul de control ales depinde de tipul produsului şi de cerințele clientului, care au fost stipulate contractual. În cazul produselor simple sunt suficiente proceduri de control tip (de exemplu, pe categorii de procedee de semifabricare: pentru piese turnate, forjate, sudate, prelucrate prin aşchiere, sinterizate). În cazul produselor complexe, utilizarea procedurilor tip va fi completată de proceduri speciale, mai amănunțite.

O procedură de control trebuie să conțină:

- identificarea şi controlul documentelor;
- produsul/serviciul/procesul/proiectul căruia îi este aplicabilă procedura în speță;

- etapele, operațiile, stadiile, momentele în care se aplică procedura;
- mijloacele de lucru utilizate;
- modul de lucru, parametrii de proces;
- personalul care aplică procedura, nivelul de competență;
- caracteristicile care se verifică;
- tipul de control ce trebuie efectuat (statistic sau integral), strategia de control;
- criteriile de acceptare/respingere;
- documentele de înregistrare, sistemul de evidență şi de arhivare a înregistrărilor;
- modul de tratare a neconformităților.

În final, pentru a vedea impactul asupra mediului introdus de operațiile de control sau de inspecție se calculează coeficientul de poluare total Cpc, folosind o expresie de forma:

$$C_{cp} = Q_{pt} \cdot M_{u} = (Q_{pca} + Q_{pcl} + Q_{pcs})M_{pc} \qquad \text{[kg emisii]} \qquad (16.47)$$

in care: Q_{cp} este cantitatea totală de substanță poluantă ce apare în timpul operațiilor de control sau inspecție, în kg emisii /kg substanță controlată; Q_{pca} – cantitatea de substanță poluantă a aerului ce apare în timpul procesului de control sau inspecție, în kg emisii /kg substanță controlată; Q_{pcl} – cantitatea de substanță poluantă a apei ce apare în procesul de control sau inspecție, în kg emisii /kg substanță controlată, Q_{pcs} – cantitatea de substanță poluantă a soluluui ce apare în timpul operațiilor de control sau inspecție, în kg emisii /kg substanță controlată; M_u – masa de substanță controlată, în kg.

Observatie! Celelalte etape din diagrama flux a proceseului tehnologic de realizare a unui produs au un impact mai mic asupra mediului, unele dintre ele au chiar impact zero. De aceea, pentru a cuprinde într-un mod cat mai eficient si concludent impactul lor asupra poluării mediului înconjurător, se poate lua pentru coeficientul de poluare auxiliarCpax, o valoare dată de expresia:

$$C_{pax} = C_{pe} \cdot (0{,}001..0{,}01) \quad \text{[kg emisii]} \qquad (16.48)$$

In care: C_{pe} este coeficientul de poluare introdus la elaborarea materialului din care este confecționat produsul.

16.3. DETERMINAREA COEFICIENTULUI DE POLUARE TOTAL C_{pt}

Cunoscând coeficienții de poluare introduşi în fiecare etapă a procesului tehnologic de realizare a produsului se poate determina coeficientul de poluare total C_{pt}, cu relația:

$$C_{pt} = C_{pp} + C_{pe} + C_{ps} + C_{pcd} + C_{pm} + C_{pap} + C_{ptt} + C_{prrr} + \\ + C_{pc} + C_{pax} \quad \text{[kg emisii]} \qquad (16.49)$$

în care: C_{pp} este coeficientul de poluare introdus la prepararea minereurilor; C_{pe} - coeficientul de poluare introdus la elaborarea materialului; C_{ps} - coeficient de poluare introdus la elaborarea semifabricatului; C_{pcd} - coeficient de poluare introdus la operațiile de curățire, decapare, degrosare; C_{pm} - coeficient de poluare introdus la prelucrările mecanice; C_{pap} - coeficient de poluare introdus la acoperirile de protecție; C_{ptt} - coeficient de poluare introdus de tratamentele termice; C_{prrr} - coeficient de poluare introdus de reparare, recondiționare, reciclare; C_{pc} - coeficient de poluare introdus de controlul (inspecția) produsului; C_{pax} - coeficient de poluare introdus de celelalte etape ale diagramei flux a procesului tehnologic.

În funcție de mărimea coeficientului de poluare trebuie luate şi măsurile de prevenire sau de reducere a impactului asupra mediului, astfel:

- dacă $C_{pt} \geq 10$ G_u, poluarea este foarte gravă şi trebuie luate măsuri urgente de prevenire şi reducere a poluării;
- dacă $5G_n \leq C_{pt} < 10$ G_u, poluarea este gravă, măsurile de prevenire şi reducere fiind absolut necesare;
- dacă 30 $G_n \leq C_{pt} < 5$ G_u, poluarea este mare şi se impun măsuri de prevenire şi reducere;
- dacă $C_{pt} < 30$ G_u, poluarea este în limitele de alertă, fiind necesare planuri de prevenire şi reducere a poluării;
- dacă $0,5$ $G_u \leq C_{pt} < 3,0$ G_u, poluarea este acceptabila.

S-a notat cu G_u - greutatea de material util, ce compune produsul final.

Evident că această grilă este valabilă în majoritatea proceselor tehnologice industriale. Există însă domenii în care valorile de comparație de mai sus se modifică substanțial funcție de natura substanțelor poluante şi mai ales de efectele pe care substanțele poluante le au asupra mediului.

În întreaga lume poluarea a ajuns la cote alarmante, iar în unele zone ale lumii a dvenit catastrofală. Cantitatea de deşeuri a ajuns la cote uluitoare, încât cineva de pe altă planetă ar putea crede că Terra este „locuită” de deşeuri.

Ne-am găsit duşmanii - aceia suntem NOI!

Ne căutăm prietenii - sperăm să fim NOI!

Pentru asta trebuie înțeles că PREVENIREA POLUĂRII este opțiunea pentru menținerea vieții în acest secol sau dacă nu – dispariția vieții pe Terra.

În timp ce operațiile de debarasare şi valorificare, prin recondiționare, reutilizare şi reciclare a deşeurilor cresc, aplicarea măsurilor de prevenire a poluării

trebuie să se impună cât mai repede şi eficient.

Prevenirea generării deşeurilor este astăzi stimulată de industrie, legislaţie şi de creşterea beneficiilor legate de manipularea deşeurilor, începând de la sursă. Legile de prevenire a poluării fac parte din politica naţională, admiţând că „*deşeurile trebuie eliminate de la sursă cât de mult posibil, în timp ce produşii poluanţi, a căror apariţie nu poate fi prevenită, trebuie reciclaţi*".

Există următoarea ierarhie în managementul deşeurilor:

- reducerea sursei, care înseamnă eleminarea sau evitarea pe cât posibil a deşeurilor, folosind tehnologii noi (ecotehnologii) proiectând produse noi cu acelaşi rol funcţional dar care să genereze o cantitate cât mai mică de deşeuri iar ele să fie pe cât posibil regenerabile.

- valorificarea deşeurilor, care presupune folosirea, refolosirea prin recuperare, recondiţionare, reciclare chiar la instalaţiile sursă (la locul producerii deşeurilor) sau la instalaţiile de tratare a deşeurilor;

- tratrea deşeurilor, care implică descompunerea sau detoxificarea lor în alte materiale, care sunt mai puţin sau deloc toxice, prin metode fizice, chimice, biologice sau printr-o combinare a acestor metode;

- debarasarea finală, care se aplică la acele reziduuri fără o utilizare posibilă şi constă în îngroparea, folosirea ca îngrăşământ, aruncarea lor în oceane şi injecţia prin puţuri de adâncime.

În tabelul 16.27 se prezintă evoluţia managementului deşeurilor, unde se poate observa cum acesta a început să se orienteze de la activităţi de control până prin 1985, spre activităţi de prevenire a poluării.

***Tabelul 16.27.* Evoluţia managementului deşeurilor.**

Înainte de 1945	Fără control
1945-1960	Control la nivel scăzut
1960-1970	Control de nivel ridicat
1970-1975	Control de nivel ridicat
1975-1980	Control mai sofisticat
1980-1985	Se naşte managementul de reducere a deşeurilor
1985-1990	Managementul de reducere a deşeurilor
1990-1995	Programe formale de prevenire a poluării
1995-2000	Acceptarea pe scară largă a prevenirii poluării
După 2000	Măsuri globale de management al deşeurilor

Una din cele mai importante şi prompte consecinţe a activităţii de prevenire a poluării va fi *analiza ciclului de viaţă a produsului* şi procedurile standardizate de *calcul ale costurilor ciclului de viaţă a produsului*.

Elementul de bază în analiza ciclului de viţă (ACV) sau LCA – Life-Cycle Assessment) este evaluarea. ACV trebuie privită ca un proces de evaluare a efectelor asupra mediului, în ciclul de viaţă complet, al unui produs, proces sau activitate.

Ciclul de viaţă al unui produs poate fi descris prin următoarele stări:

- material brut (materialul în stare primară);
- prelucrarea de elaborare şi semifabricare;

- prelucrarea dimensională;
- asamblarea;
- consumul şi exploatarea;
- recondiționarea /reciclarea;
- retragerea (casarea);
- debarasarea.

Scopul fundamental al analizei ciclului de viață este să promoveze *dezvoltarea durabilă* la nivel local, regional sau global.

Principiile pentru realizarea unei dezvoltări durabile trebuie să includă:

- *folosirea durabilă a resurselor*, care înseamnă conservarea resurselor, minimizarea consumului de resurse de unică folosință şi folosirea de practici durabile pentru utilizarea resurselor de unică folosință. În afara energiei solare, toate celelalte resurse de energie sunt epuizabile. Epuizarea resurselor de unică folosință şi folosirea peste măsură a celorlalte resurse limitează disponibilitatea lor pentru generațiile viitoare;

- *menținerea structurii şi a funcțiilor ecosistemului*, trebuie să fie grija fundamentală a tuturor deoarece menținerea sănătății diverselor specii şi a funcțiilor lor ecologice înseamnă menținerea sănătății Pământului, respectiv a sănătății umane;

- *justiția mediului*, conține elementele cheie: *sănătatea mediului, echitatea mediului şi politica mediului*. O mare provocare în dezvoltarea durabilă este realizarea justiției mediului, între generații şi societăți. Poluarea planetei şi consumul peste limită al resurselor, astfel încât să restrângă accesul generațiilor viitoare la un confort rezonabil, transferă iresponsabil problema către generațiile viitoare şi aceasta, numai pentru realizarea unor câştiguri imediate. Acest conflict între generații este amplificat şi de inegalitățile enorme în ceea ce priveşte distribuția de resurse nu numai între țări ci şi în interiorul frontierelor naționale.

Ciclul de viață ia în considerare costurile activității (fabricare, prestare servicii, reciclare etc.) ținând cont şi de potențiala degradare a mediului şi de consumul de energie. Ia în considerare toate costurile proiectului, de la achiziționarea materiei brute până la aruncarea produsului respectiv (fig. 16.72).

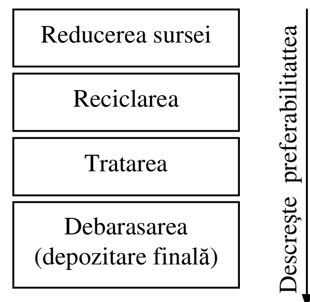


Fig. 16.72. Clasificarea metodelor de prevenire a poluării.

Metoda preferată de prevenire a poluării este *reducerea sursei*, deoarece ea se adresează sursei poluatoare, înainte de producerea poluării.

Reducerea surse înseamnă „orice practică de reducere a cantității de substanțe periculoase, poluante sau contaminante, care urmează să fie debarasate în

mediul înconjurător, înainte de reciclare, tratare sau debarasare". Reciclarea se referă la refolosirea de materiale, care ar trebui aruncate sau tratate ca deşeuri (de exemplu, reîncărcarea bateriilor). O schemă detaliată a celor două tehnici de prevenire a poluării se prezintă în figura 16.73.

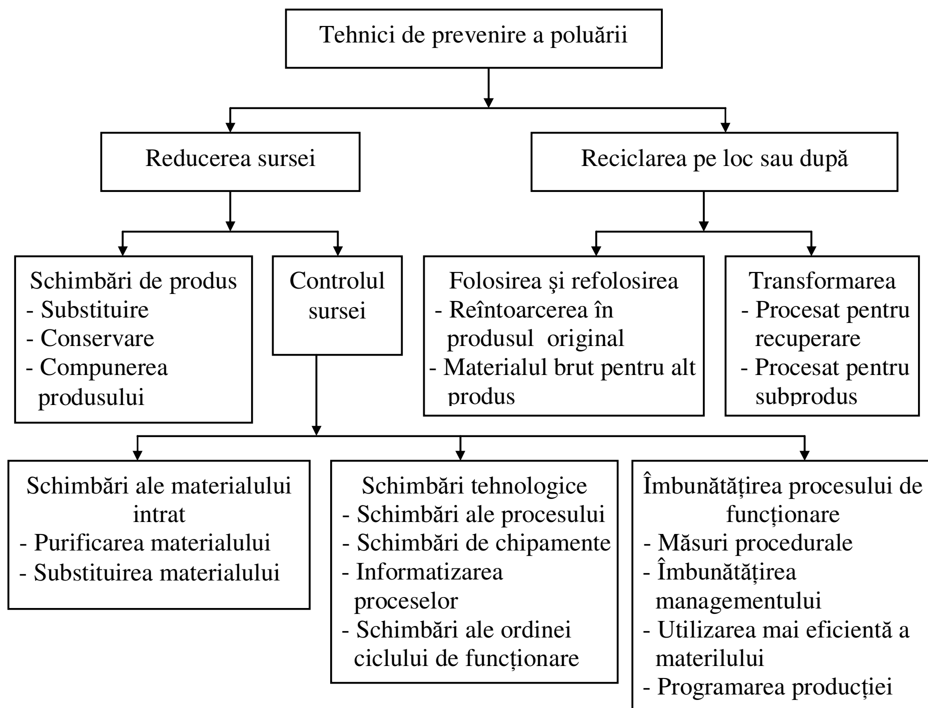


Fig. 16.73. Tehnici de prevenire a poluării.

Pentru a proiecta şi implemente un program de prevenire a poluării, toate sursele de generare a acesteia trebuie să fie bine analizate şi evaluate.

Se face deci o **analiză a mediilor** care implică o abordare multilaterală (nu trebuie să se ia în considerare numai o sursă de poluare în toate mediile ce ar putea fi contaminate (aer, apă, sol) ci toate sursele de poluare aferente acelei activități). Asta presupune ca un poluant al unui mediu să nu fie transferat în alt mediu (din apă in sol sau din aer in apă).

Analiza ciclului de viață realizează:

- un inventar al materialelor şi energiei folosite, a debarasărilor în mediu, în toate fazele vieții unui produs, proces sau activitate;
- analiză a potențialelor efecte asupra mediului datorate energiei, resurselor materiale şi a debarasării în mediu;
- o analiză a schimbărilor necesare îmbunătățirii produsului sau procesului respectiv, pentru a răspunde cerințelor de mediu.

Procedura de evaluare a prevenirii poluării se prezintă in figura 16.74.

Planificarea si organizarea se face de o echipă de acțiune care-şi selecționează un lider. Echipa de acțiune trebuie să fie capabilă să identifice

alternative pentru reducerea poluării şi să fie conştientă de piedicile inerente ce ar putea să apară în timpul procesului.

Evaluarea are drept scop strângerea datelor necesare identificării şi analizei oportunităţilor de reducere a poluării. Pentru o evaluare corectă sunt necesare mai multe surse de informaţii (fig.16.75).

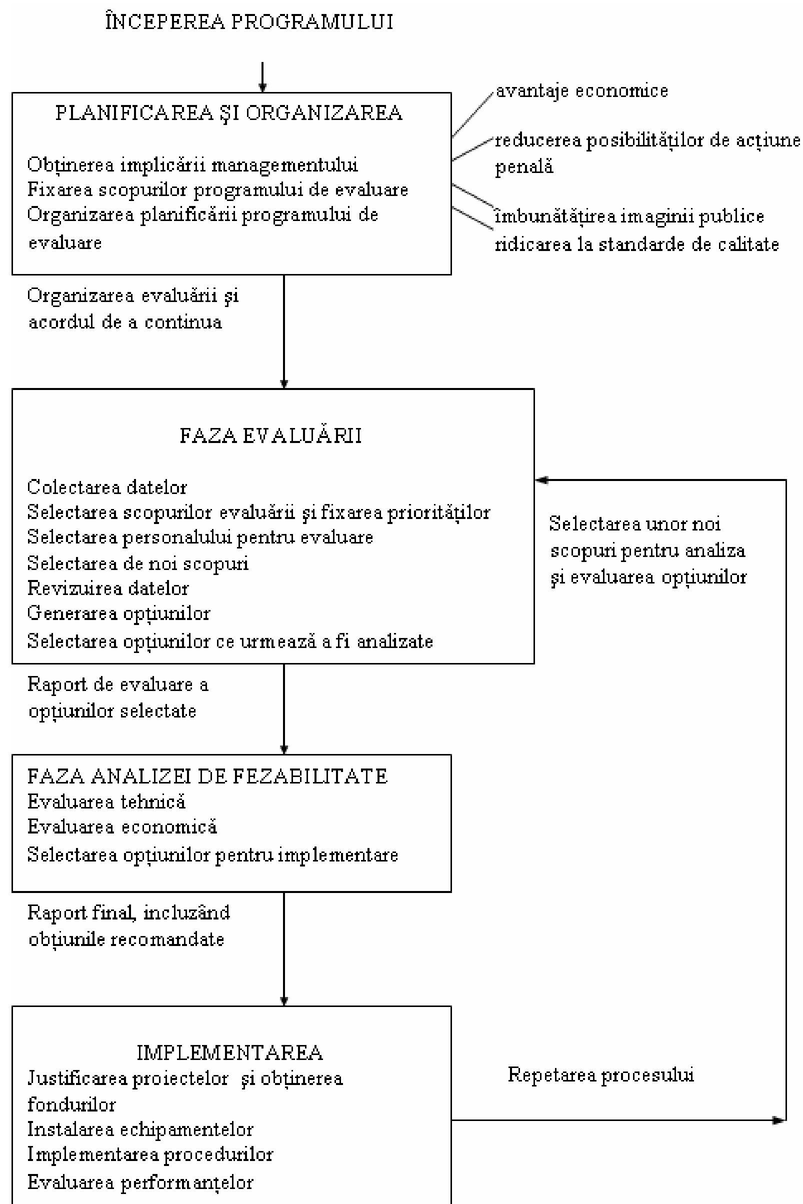


Fig. 16.74. Procedura de evaluare în prevenirea poluării.

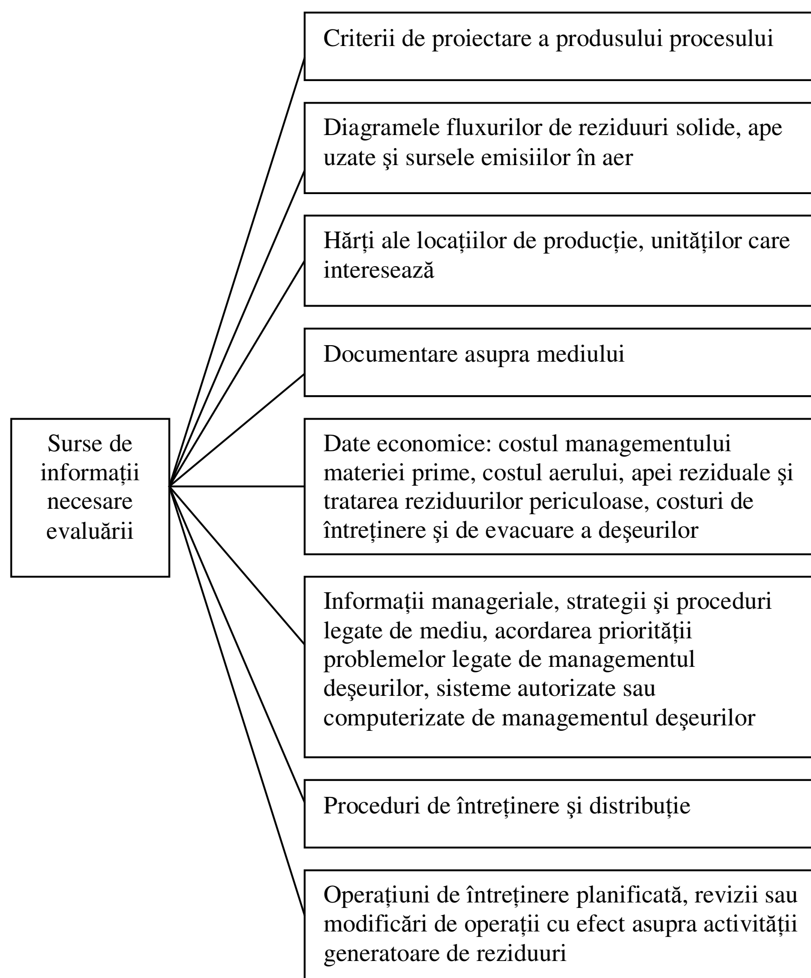


Fig. 16.75. Sursele de informații necesare unei evaluări.

Studiul de fezabilitate ia în considerare mai multe considerente tehnice şi economice (fig. 16.76).

Implementarea presupune justificarea, obținerea fondurilor şi introducerea programului de prevenire a poluării în manageriatul şi operarea zilnică a obiectivului analizat. Dezvoltarea cu succes şi implementarea oricărui program de prevenire a poluării cere şi o cunoaştere foarte bună a oportunităților actuale şi a noilor descoperiri în domeniu (fig. 16.77).

Din păcate există şi bariere în prevenirea poluării şi aceasta pentru că inginerul de multe ori găseşte soluții mai economice dar nu mai ecotehnologice. Totuşi, opinia şi evoluția actuală a societății, schimbările tehnologice şi progresul tehnic continuu vor face ca inginerii, oamenii de ştiință şi oficialități guvernamentali să-şi schimbe total atitudinea față de mediu şi față de politica de

prevenire a poluării.

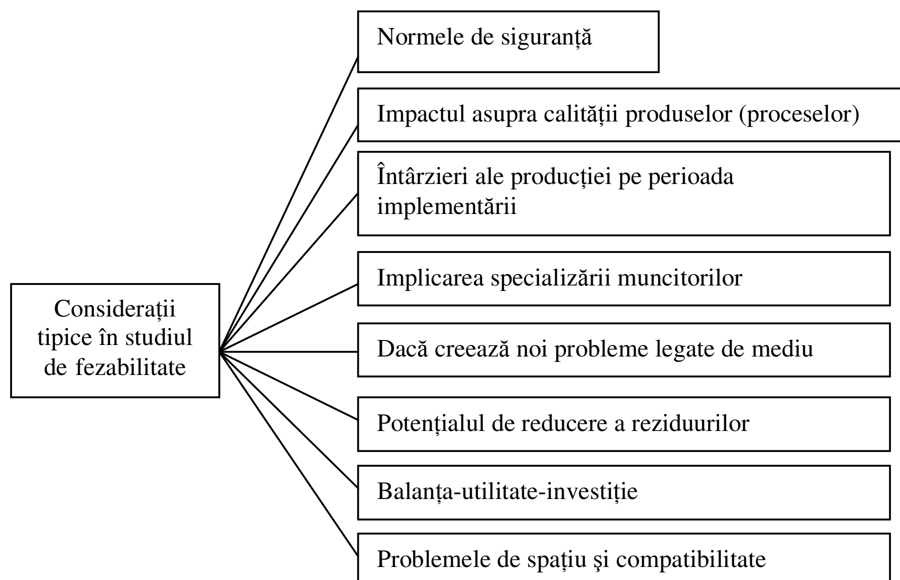


Fig. 16.76. Considerente tehnice şi economice în efectuarea studiului de fezabilitate

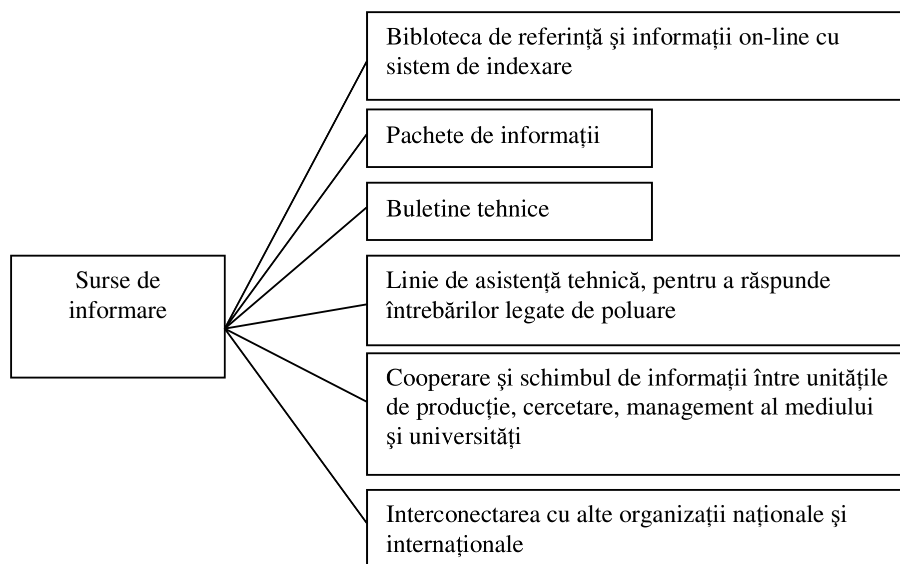


Fig. 16.77. Sursele de informare folosite într-un program de prevenire a poluării.

Principalele bariere în prevenirea poluării se prezintă în figura 16.78.

Sunt însă şi multe argumente pentru programul de prevenire a poluării. Câteva stimulente de prevenire a poluării se prezintă în figura 16.79.

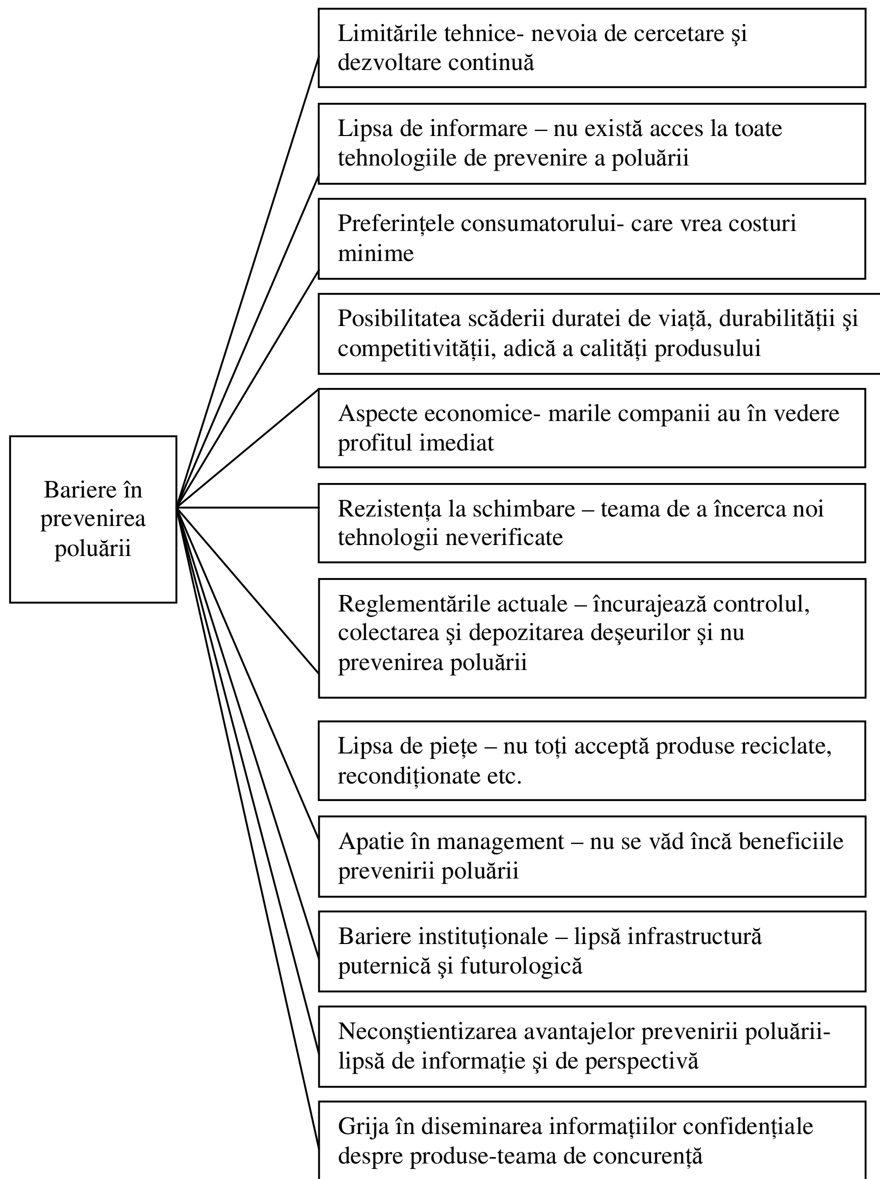


Fig. 16.78. Principalele bariere în calea prevenirii poluării.

Stadiul ISO14000 evidențiază inpactul produselor asupra mediului, în fiecare din etapele ciclului de viață începând cu momentul concepției-proiectării, trecând prin aprovizionarea cu materii prime şi energie şi până la reintegrarea lor în natură (fig. 16.79). Evaluarea performanțelor de mediu este un procedeu de management intern care furnizează organizației/firmei informații destinate luării deciziilor referitoare la menținerea şi îmbunătățirea aspectelor de mediu.

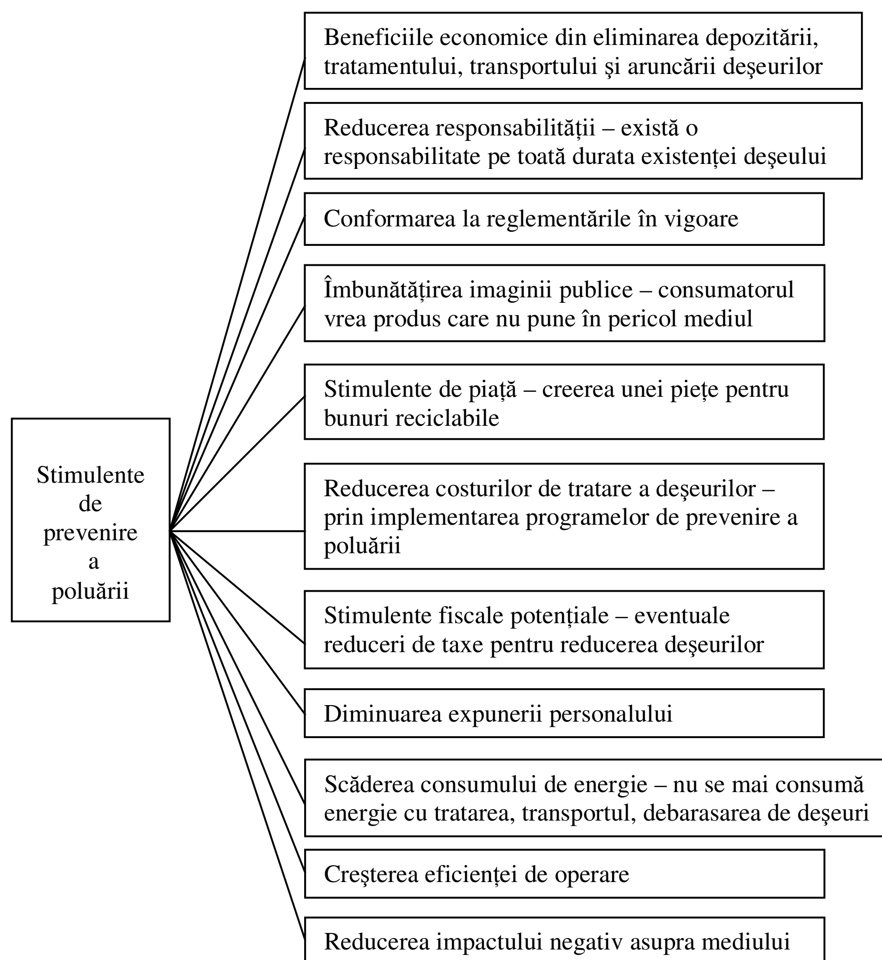


Fig. 16.79. Câteva din stimulentele de prevenire a poluării.

Aceasta implică stabilirea indicatorilor specifici, culegerea şi analiza datelor, evaluarea informaţiilor în raport cu obiectivele avute şi ţinerea sub control a sistemului de management de mediu.

Pentru performanţa de mediu standardul ISO/DIS 031 prevede următoarele tipuri de indicatori:

- indicatori privind performanţa de management;
- indicatori privind performanţa operaţională;
- indicatori privind situaţia de mediu.

Analiza ciclului de viaţă a produselor, în viziunea standardelor ISO 14 000, are ca scop evidenţierea impactului produselor asupra mediului, în fiecare din etapele acestui ciclu şi anume din momentul concepţiei - proiectării, trecând prin aprovizionarea cu materii prime şi energie şi, în continuare, prin etapele de producţie, distribuţie, utilizare şi post-utilizare. În etapa de post-utilizare trebuie

asigurată reutilizarea sau reintegrarea lor in natură.

Standardele care definesc analiza ciclului de viață a produselor (ISO 14 040), oferă recomandări privind metodologia acestei analize (ISO 14 041), principii de evaluare a impactului de mediu în etapele ciclului de viață (ISO 14 042), precum şi a progreselor înregistrate (ISO 14 043).

Analiza este astfel concepută încât să reprezinte un instrument de fundamentare a deciziilor în elaborarea planului strategic al unei organizații, pentru proiectarea proceselor, produselor şi evaluarea metodelor alternative de fabricație, din perspectiva exigențelor ecologice pe care trebuie sa le satisfacă.

Analiza ciclului de viață poate servi, în egală măsură, ca bază pentru marcarea ecologică, sau pentru stabilirea indicatorilor de evaluare a impactului de mediu al produselor.

Cu prilejul acestei analize pot fi luate in considerare o serie de aspecte de mediu, cum ar fi:

- poluarea aerului prin emisia de gaze toxice;
- contribuția la efectul de seră şi ploi acide, impactul asupra stratului de ozon;
- utilizarea/poluarea apei din pânzele freatice, cantitatea şi calitatea apelor reziduale, impactul asupra sistemelor de tratare, utilizarea apei de răcire cu implicații termice asupra receptorilor;
- consumul de energie (electrică, gaze, petrol etc.);
- degradarea peisajului eroziunea solului, degradarea pădurilor;
- emisiile de zgomote, vibrații, praf şi particule;
- explozii, deversări diverse, deşeuri solide, deşeuri periculoase.

Definitivarea standardelor ISO 14 000, referitoare la analiza ciclului de viață a produselor, a fost dificilă datorită complexității unei asemenea analize şi lipsei instrumentelor metodologice necesare pentru evaluarea impactului de mediu în ceea ce priveşte procesele şi produsele.

Standardul ISO 14 001 este un document care stabileşte cerințele pentru implementarea unui sistem de management de mediu. A fost elaborat pentru a putea fi aplicat tuturor firmelor, de orice tip şi mărime, cu posibilitatea de a fi adaptat la diverse condiții geografice, culturale şi sociale. Scopul general al acestui standard internațional este de a susține protecția mediului şi de a preveni poluarea.

Domeniul de aplicare

Prezentul Standard este aplicabil oricărei firme care doreşte:

- să implementeze, să mențină şi să îmbunătățească un sistem de management de mediu;
- să se asigure de conformitatea cu politica de mediu declarată;
- să demonstreze această conformitate altora.

Cerințele sistemului de management de mediu specificate în standardul ISO 14 001, nu trebuie stabilite în mod independent de elementele sistemului de management care funcționează la nivelul unei firme. Conform acestui standard funcțiile de bază ale SMM la nivel de organizație sunt:

- să asigure o abordarea structurață şi sistematică a problematicii de mediu;
- să realizeze controlul diferitelor aspecte de mediu;

- să asigure concordanţa cu legislaţia;
- să introducă performanţe de mediu;
- să valorifice experienţa favorabilă (compatibilitate, interoperabilitate) oferită de sistemele de management al calităţii.

SMM foloseşte aceste funcţii într-o reţea de acţiuni de management, proceduri, documentaţii şi înregistrări, având ca scop:

- să identifice şi să controleze aspectele negative ale activităţilor care afectează mediul;
- să identifice şi să controleze aspectele negative ale activităţilor care afectează mediul;
- să identifice oportunităţile semnificative de protecţie a mediului;
- să identifice cerinţele relevante de compensare a daunelor produse mediului;
- să stabilească politica organizaţiei pentru promovarea unui mediu sănătos şi a bazei pentru managementul de mediu;
- să stabilească priorităţile privind obiectivele şi acţiunile necesare în vederea realizării acestora;
- să monitorizeze şi să evalueze performanţele efective ale SMM, inclusiv promovarea modalităţilor de ameliorare şi adaptare la condiţii de cerinţe aflate în evoluţie.

În tabelul 16.28 sunt date o serie de precizări care scot în evidenţă importanţa acestui standard.

Tabelul 16.28. **Precizări privind semnificaţia standardului ISO 14 001.**

Criteriul	**Ce este ISO 14 001**	**Ce nu este ISO 14 001**
Ca document	Este un standard recunoscut pe plan internaţional, nu are caracter obligatoriu.	Nu este o lege şi prin urmare nu are caracter obligatoriu în nici o ţară şi nici o zonă geografică a lumii.
Ca relaţie cu legislaţiile de mediu naţionale	Este un document care pretinde respectarea legislaţiilor naţionale, incluzând legi, norme, regulamente etc.	Nu este un document care să modifice legislaţiile naţionale sau care să impună condiţii, limite de emisii, praguri de reglemetare suplimentare faţă de cele prevăzute de normele naţionale.
Din punct de vedere al aplicabilităţii	Este un standard internaţional, care poate fi aplicat, daca se doreşte, în orice ţară pentru orice tip de activitate (industrială sau nu) şi pentru organizaţii de orice mărime. Permite implementarea unui SMM la nivelul unei părţi din activiţăţile organizaţiei, desfăşurate pe un anumit amplasament.	Nu este un document înglobat într-o convenţie internaţională, iar obligativitatea implementării lui nu este impusă de nici o lege, din nici o ţară.

***Tabelul 16.28.*(continuare)**

Ca instrument	Este un document de referință pe baza căruia se poate construi un SMM bazat pe îmbunătățirea continuă a performanțelor de mediu ale unei organizații.	Nu este un mijloc de sancționare a organizației în cazul nerespectării prevederilor legale.
Din punct de vedere al comunicării	Este un sistem de reguli şi prevederi care permit structurarea unei comunicări interne/externe, sensibilizarea personalului şi tratarea eficientă a unor solicitări externe pertinente.	Nu este un document care să oblige la comunicarea (publicarea) rezultatelor şi performanțelor de mediu ale organizației în exterior. Textul nu pretinde nici comunicarea externă, aceasta fiind doar voluntară.
Din puncte de vedere al nerespectării exigențelor	Este un document care formulează un set de cerințe a căror îndeplinire permite certificarea sistemului. În caz de nerespectare a acestor condiții, organizația respectivă îşi poate pierde certificarea.	Nu este un document cu putere de lege, deci nerespectarea exigențelor sale nu expune organizația la consecințe juridice sau la tipuri de daune legale.

În perspectivă, impactul standardelor din seria 14 000 va fi semnificativ. Aceste standarde vor înregistra un succes comparabil cu cel al standardelor din seris 9 000, atât la nivelul organizației, cât şi la nivel național şi internațional:

- la nivelul organizațiilor, vor deveni nucleul unui program complet de protecție a mediului, contribuind la îmbunătățirea continuă a activității oricărei organizații şi asigurarea progresului ei global, prin îmbunătățirea performanțelor de mediu;
- la nivel național, vor influența pozitiv politicile guvernamentale referitoare la protecția mediului, oferind soluții complementare reglementărilor în domeniu, pentru ținerea sub control a operatorilor economici;
- la nivel internațional, vor facilita tranzacțiile comerciale, oferind mai multă încredere în capacitatea organizațiilor din diferite țări de a realiza produse care pe întregul lor ciclu de viață vor avea un impact ambiental minim.

***Tabelul 16.29.* Standarde de mediu din seria ISO 14 000 (1999).**

Standard ISO	Titlu
ISO 14 001/1996	Sisteme de management de mediu - Specificații şi ghid de utilizare
ISO 14 004/1996	Sisteme de management de mediu – Ghid general privind principii, sisteme şi tehnici de aplicare (implementare)
ISO 14 010/1996	Ghid pentru auditul de mediu - principii generale
ISO 14 011/1996	Ghid pentru auditu de mediu - Proceduri de audit - Auditarea sistemelor de management de mediu
ISO 14 012/1996	Ghid pentru audit de mediu - Criterii de calificare pentru auditorii de mediu
ISO/WD 14015/1997	Evaluarea de mediu a amplasamentelor şi entităților
ISO 14 020/1998	Etichete şi declarații de mediu
ISO 14 021/1999	Marcări şi declarații de mediu – Declarații de mediu pe proprie răspundere

***Tabelul 16.29.*(continuare)**

ISO 14 024/1998	Marcări şi declaraţii de mediu – Etichetare de mediu de Tip I – Principii directoare şi proceduri
ISO/WD/TR 14025	Marcări şi declaraţii de mediu – Etichetare de mediu de Tip III – Principii directoare şi proceduri
ISO/DIS 14 031/1999	Management de mediu – Evaluarea performanţei de mediu – Ghid
ISO/TR 14032/1999	Management de mediu – Exemple privind evaluarea performanţei de mediu
ISO 14 040/1997	Analiza ciclului de viaţă a produsului – Principii şi practici generale
ISO 14 041/1998	Analiza ciclului de viaţă a produsului – Definiţia obiectivului şi a domeniului utilizat
ISO/CD 14042/1999	Management de mediu - Analiza ciclului de viaţă a produsului – Evaluarea impactului de mediu în etapele ciclului de viaţă a produsului
ISO/DIS 14043/1999	Management de mediu - Analiza ciclului de viaţă a produsului – Interpretarea ciclului de viaţă a produsului
ISO/TR 14047/1999	Management de mediu - Analiza ciclului de viaţă a produsului – Interpretarea ciclului de viaţă a produsului
ISO/TR 14048/1999	Management de mediu - Analiza ciclului de viaţă a produsului – Exemple care ilustrează aplicarea ISO 14 042
ISO/TR 14049/1999	Exemple care ilustrează aplicarea ISO 14 041
ISO 14050/1998	Management de mediu – Vocabular
ISO/TR 14061/1998	Material de referinţă informativ în sprijinul utilizării ISO 14 001 şi ISO 14 004 de către organismele forestiere
ISO Guide 64/1997	Ghid pentru introducerea aspectelor de mediu în standardele de produs din domeniul forestier

Un rol important în prevenirea poluării îl are **progresul tehnic**, care rămâne factorul cheie al dezvoltării economice cu menţinerea calităţii mediului ambiant. Progresul tehnic, ca factor de prevenire a poluării şi de reducere a acesteia poate interveni în diferitele faze ale procesului de producţie, conform schemei din figura 16.80.

Se observă că progresul tehnic acţionează direct la nivelul factorilor de producţie, conducând la prevenirea poluării şi *indirect* la nivelul monitorizării, tratării şi eliminării deşeurilor, conducând la reducerea poluării.

Prin urmare, prevenirea poluării prin procesul tehnologic proiectat trebuie să se încadreze în **politica de mediu** a firmei. Politica de mediu a unei firme (conform principiului de management de mediu din carta de Dezvoltare Durabilă) presupune *recunoaşterea managementului de mediu ca prioritate în cadrul firmei şi ca factor cheie pentru o dezvoltare durabilă.*

În cazul implementării unui sistem de management de mediu, potrivit standardului ISC 14001, politica de mediu trebuie definită de conducerea organizaţiei şi să îndeplinească o serie de condiţii (fig. 16.81).

După cum se observă politica de mediu a unei firme trebuie să includă trei angajamente:

- angajamentul de conformitate cu legislaţia de mediu;
- angajamentul de prevenire a poluării;
- angajamentul de îmbunătăţire continuă a politicii de mediu, într-o

relație strânsă cu obiectivele stabilite (fig. 16.82).

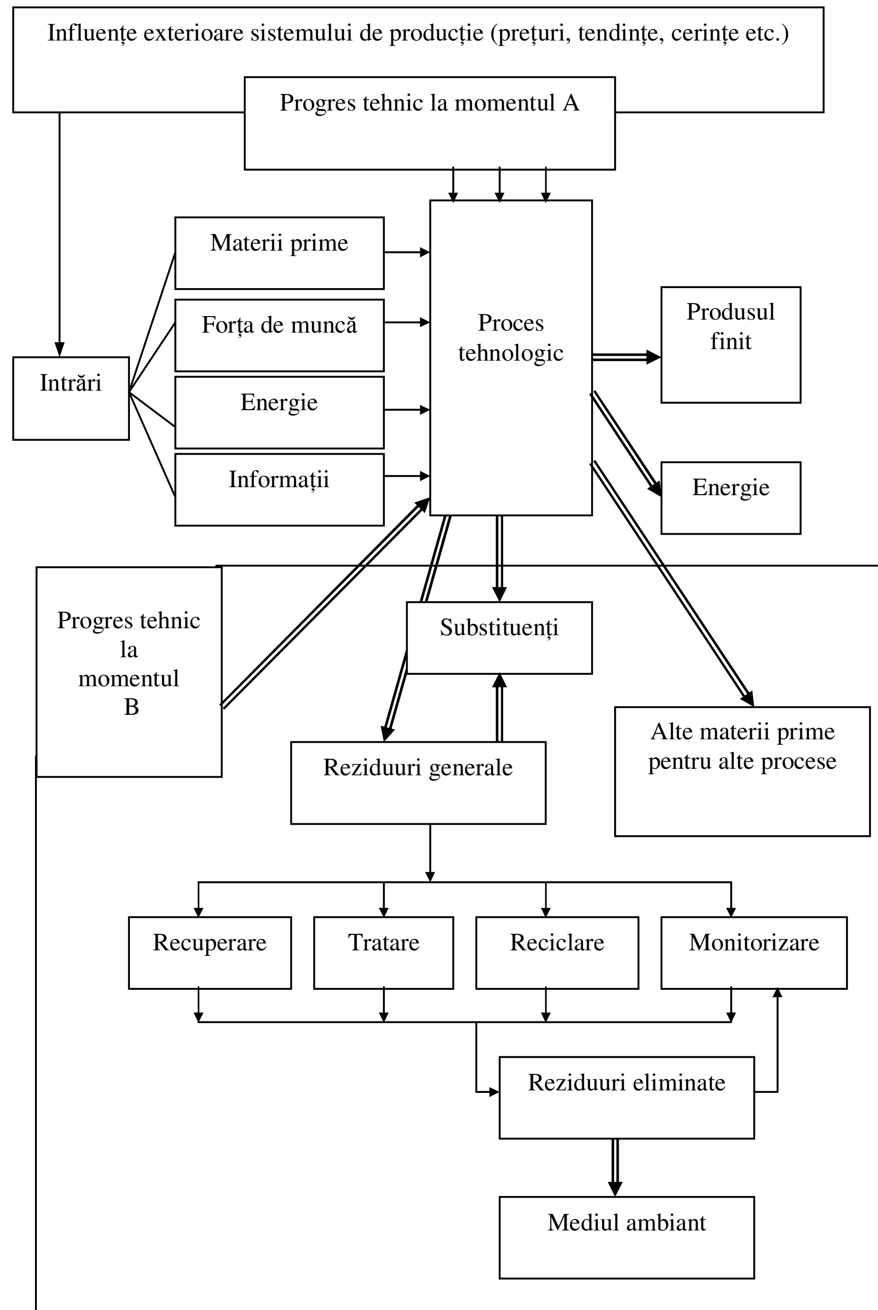


Fig. 16.80. Funcțiile progresului tehnic în procesul de prevenire şi reducere a poluării mediului.

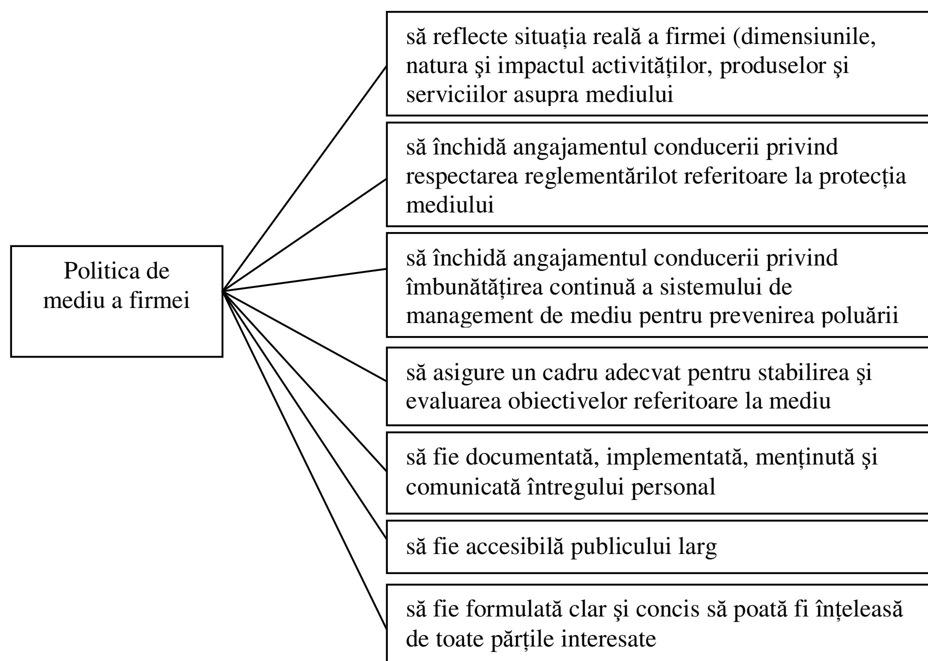


Fig. 16.81. Politica de mediu a unei firme.

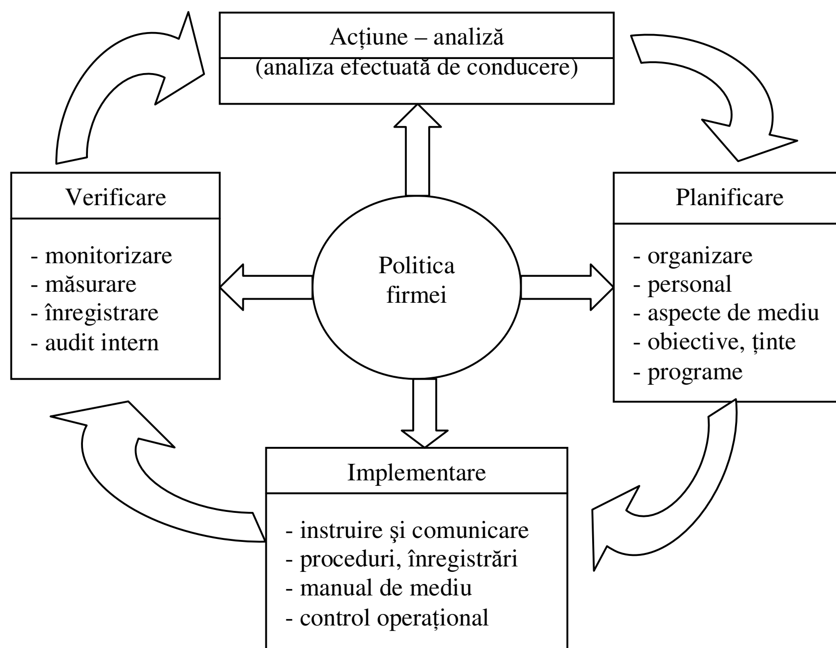


Fig. 16.82. Sistemul de management de mediu într-o evoluție ciclică de îmbunătățire continuă.

16.4. DETERMINAREA GRADULUI OPTIM DE REDUCERE A POLUĂRII

Poluarea zero este un vis. Reducerea totală a poluării nu este posibilă nici tehnologic, nici economic, deoarece presupune cheltuieli antipoluante insuportabile de orice economie dezvoltată.

Trebuie găsită o cale de armonizare a intereselor producătorilor care urmăresc profituri imediate, a intereselor întregii societăți, care doreşte să trăiască într-un mediu nepoluant. Pentru aceasta se determină un **optimum economic** luând în considerare **cheltuielile pentru dezvoltare** (fig. 16.83) şi beneficiile depoluării. Se consideră gradul optim de reducere a poluării, punctul n_o, în care diferența dintre cele două curbe a şi b este maximă (acolo unde $t_a\alpha = t_g\beta$).

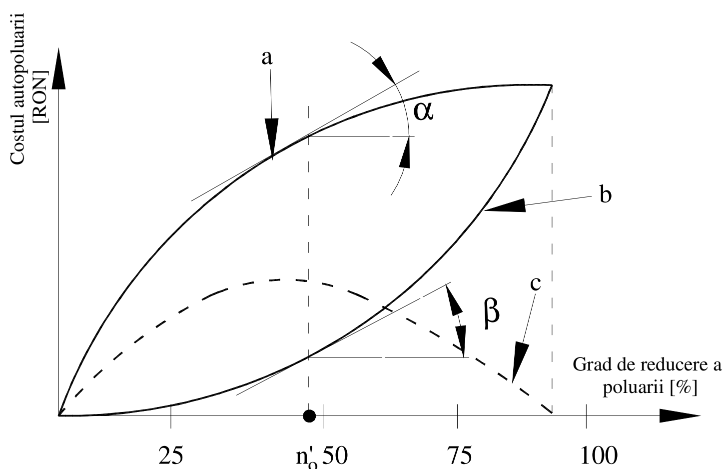


Fig. 16.83. Determinarea gradului optim de reducere a poluării:
a– costul total al prevenirii sau al depoluării; c – diferența dintre cele două curbe;
n_o – gradul optim de reducere a poluării.

Această analiză nu este întotdeauna uşor de făcut deoarece pagubele produse de poluare sunt mai greu de cuantificat decât cheltuielile legate de introducerea unor tehnologii noi de producție, de prevenire a poluării sau de reducere a poluării. Oricum, un studiu privind reducerea poluării este mai uşor de făcut la nivelul întregii economii decât la nivelul unei instalații industriale, unde se poate dace o analiză de forma prezentată în figura 16.84.

Ar trebui ca $n_o' = n_o$ dar de cele mai multe ori este imposibilă estimarea corectă a pierderilor datorate poluării.

Mai aproape de realitate este abordarea luând în considerare gradul de interes al societății de a plăti depoluarea pentru a realiza un anumit grad de puritate a mediului înconjurător. Pentru a nu simți efectele poluării societatea este dispusă să suporte cheltuielile de depoluare C_d (fig. 16.85).

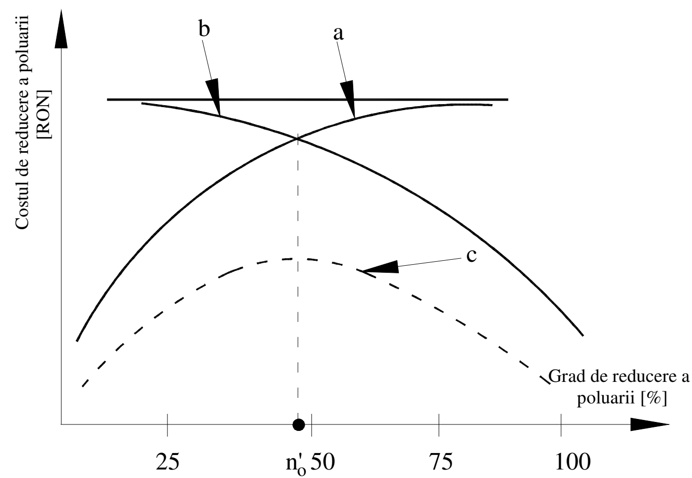


Fig. 16.84. Determinarea pierderilor cauzate de poluare:
a - cheltuieli cu prevenirea poluării sau reducerea poluării; b – pierderile datorate poluării; c – suma celor două curbe a şi b; n_o – gradul optim de reducere a poluării.

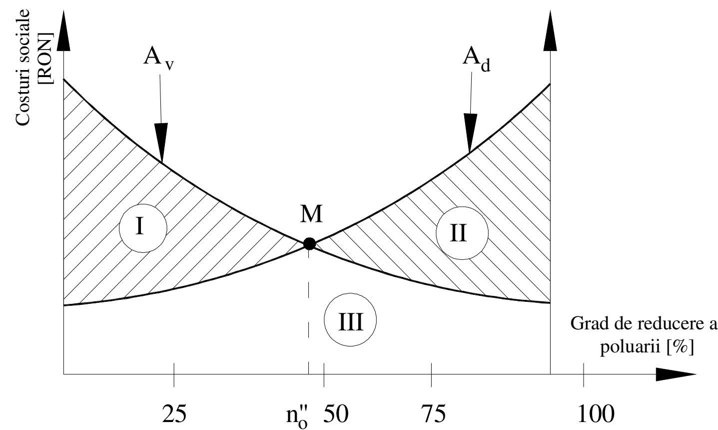


Fig. 16.85. Gradul de reducere a poluării în funcţie de costurile şi utilităţile sociale:
C_d – cheltuieli pentru reducerea poluării; A_v – utilitatea socială/avantajul reducerii poluării; n_o'' - gradul optim de reducere a poluării.

Pe măsură ce gradul de reducere a poluării creşte avantajul/utilitatea socială (A_v) pentru care societatea este dispusă să plătească contribuţii suplimentare descreşte, iar cheltuielile pentru reducerea poluării (C_d) cresc. Din analiza zonelor ce apar în figura 16.85 se pot trage următoarele concluzii:

- în zona I sunt cele mai mari avantaje deoarece se văd avantajele reducerii poluării;
- în zona II se înregistrează pierderi mari deoarece poluarea este deja redusă iar cheltuielile cresc;

- în punctul M se realizează gradul optim de reducere a poluării.

Pentru o optimizare a etapei este necesară îndeplinirea condiției:

$$n_o = n_o' = n_o'' \qquad (16.50)$$

În țările dezvoltate, investițiile alocate pentru protecția mediului dețin ponderi însemnate, diferențiate pe ramuri industriale. Tehnologiile noi, de reducere sau prevenire a poluării dețin 1,2% din PIB iar pierderile, ca urmare a faptului că nu se iau măsuri antipoluante mai consistente, sunt de aproximativ 5% din PIB.

Se poate determina şi un interval de timp t_{opt} pentru realizarea unui optimum economic privind reducerea poluării, folosind o relație de forma:

$$t_{opt} = \frac{C_{am}(t) - C_{am}(t_o)}{\alpha \cdot C_{pp} - \beta C_{rp}} \text{ [ani]} \qquad (16.51)$$

în care : C_{am} este capacitatea de asimilare a mediului în urma efectuării cheltuielilor pentru reducerea poluării existente; C_{rp} – cheltuieli cu reducerea poluării existente la timpul t; C_{pp} – cheltuieli făcute pentru prevenirea poluării şi menținerii ei în limitele standard; α şi β - coeficienți ce exprimă creşterea capacității de asimilare respectiv de încadrare în limitele standard, raportați la unitatea monetară cheltuită; t_o şi t – momentul de timp inițial şi respectiv, de perspectivă.

Pentru o proiectare corectă a unui proces tehnologic sau a unei activități cu impact asupra mediului este necesară cunoaşterea în fiecare etapă a acestuia a indicatorului de calitate a mediului. Acest indicator I_{cm} se poate calcula la nivelul fiecărui poluant i, cu relația.

$$I_{cm_i} = \frac{CMA_i - C_{ef_i}}{C_{max_i} - CMA_i} \text{ [\%]} \qquad (16.52)$$

în care: I_{cmi} este indicatorul de calitate a mediului datorat poluantului "i"; CMA_i – concentrația maximă admisibilă în poluant „i"; C_{efi} – concentrația efectivă, la momentul calculării, în poluant „i"; C_{max} – concentrația maximă în poluant „i" ce conduce la degradarea inevitabilă a mediului.

Acest indicator are valorile cuprinse între 0 (când poluarea este maximă şi inevitabilă) şi 1 (când mediul este curat).

Indicatorul calității mediului se poate calcula şi ca sumă a tuturor poluanților „p" din mediul respectiv, cu relația:

$$I_{cm_t} = \sum_{i=1}^{p} \frac{CMA_i - C_{ef_i}}{C_{max_i} - CMA_i} \qquad (16.53)$$

în care: I_{cmt} este indicatorul de calitate a mediului datorat tuturor poluanților „p" existenți în mediu la momentul calculării.

În concluzie se poate spune că la proiectarea oricărui ecoprodus, oricărui ecoproces de prestare servicii sau oricărei activități rezultate în urma unui ecoproces tehnologic trebuie avute în vedere următoarele elemente:

- planul calității;
- traseul tehnologic;
- diagrama flux a procesului tehnologic;

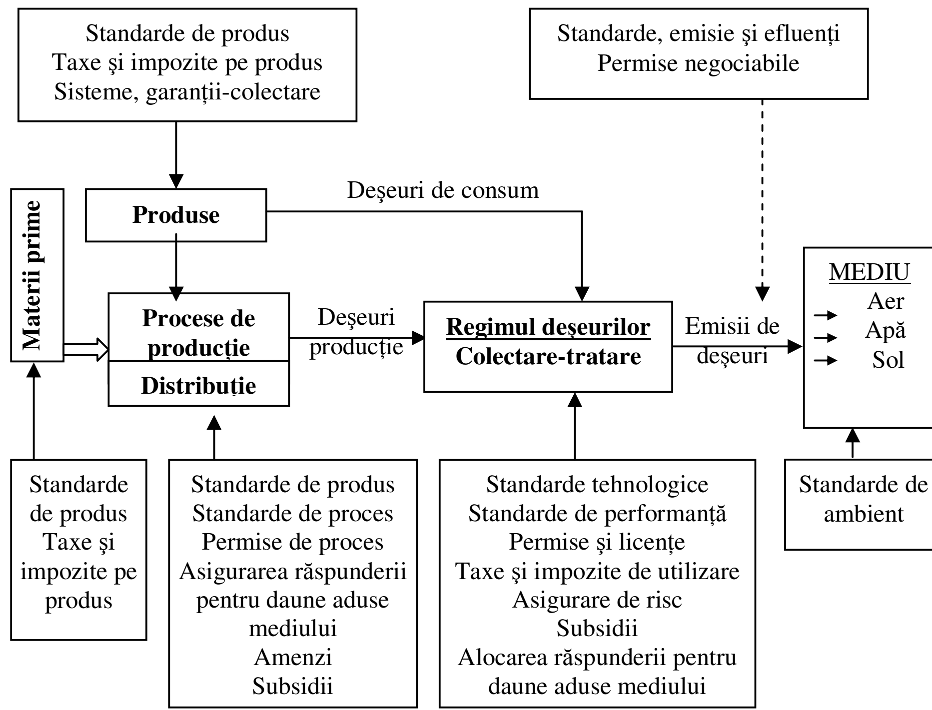


Fig. 16.86. Conexiunea standardelor şi a instrumentelor economice şi juridice.

- etapele şi momentele de impact asupra mediului;
- natura substanţelor poluante;
- modul de acţiune asupra mediului al substanţelor poluante;
- coeficientul de poluare în fiecare etapă şi coeficientul total de poluare pentru a stabili măsurile necesare îndeplinirii obiectivelor stabilite şi anume:
- modificările procesului tehnologic în vederea transformării lui într-un proces ecotehnologic;
- înlocuirea fazelor sau operaţiilor cu poluare mare;
- indicatorul de calitate al mediului;
- măsurile de prevenire a poluării în fiecare etapă de desfăşurare a procesului tehnologic;
- măsurile de reducere a poluării în fiecare etapă de desfăşurare a procesului tehnologic;
- posibilităţile înlocuirii unor substanţe poluante sau periculoase cu alte substanţe mai puţin poluante sau periculoase;
- măsurile de recuperare, tratare şi reciclare a reziduurilor secundare;
- măsurile de recondiţionare şi reciclare a deşeurilor;
- măsurile de reintegrare în mediu a deşeurilor;
- costurile cu reducerea poluării;

- costurile cu prevenirea poluării;
- conexiunea standardelor şi a instrumentelor economice şi juridice (fig. 16.86);
- costurile implementării unui sistem de management de mediu.

Numai printr-o astfel de abordare, societatea industrială-consumatoare exponențială de resurse naturale şi deci de poluare a mediului, trebuie să treacă masiv la o societate informațională-creatoare exponențială de inteligență, pentru a trece apoi la societatea cunoaşterii şi în final la societatea conştientizată.

Numai o persoană informată şi conştientă de valoarea informației poate deveni prin comportament un ajutor esențial în salvarea mediului şi respectiv a Vieții pe Terra!



CONSIDERAȚII PRIVIND ELABORAREA UNUI MODEL GENERAL AL UNEI ORGANIZAȚII ECOTEHNOLOGICE, ABORDARE SISTEMICĂ

Proiectarea procesului ecotehnologic pentru fiecare produs şi pentru fiecare transformare de sunstanță ce se desfăşoară într-un centru economic şi realizarea bilanțului ecotehnologic sunt două deziderate ale viitorului apropiat deoarece ele pot conduce la transformarea oricărui centru ecnomic într-o organizație ecologică, ca parte importantă a unei eco-economii.

17.1 ORGANIZAȚIA ECOTEHNOLOGICĂ

Sarcina realizării concordanței între tendințele creşterii populației, a dorinței de dezvoltare continuă a organizației şi necesitatea de protejare a mediului poate fi îndeplinită numai printr-o abordare care încurajează dezvoltarea şi care susține în acelaşi timp şi mediul.

Dezvoltarea organizațiilor ecotehnologice reprezintă o nouă abordare a dezvoltării industriale, care permite organizațiilor să asigure beneficii economice şi sociale pentru generația actuală fără a compromite capacitatea generațiilor viitoare de a-şi îndeplini propriile cerințe şi fără a dăuna proceselor ecotehnologice fundamentale.

Din această definiție decurge faptul că orice degradare semnificativă a proceselor ecotehnologice, datorată organizației nu este durabilă pe termen lung.

Pentru realizarea dezvoltării durabile a organizației trebuie îndeplinite trei criterii:

- protejarea eco-capacității, adică menținerea capacității ecosistemelor de a funcționa în ciuda existenței poluării;
- utilizarea eficientă a resurselor umane, materiale şi energetice;
- asigurarea unei distribuții echitabile între națiuni atât a bunurilor furnizate de dezvoltarea organizațiilor cât şi a greutăților produse prin degradarea mediului înconjurător.

Conceptul de eco-capacitate prezintă două aspecte:

- elasticitatea sistemului, adică menținerea modelelor comportamentale în fața perturbărilor externe;

- capacitatea sistemului de a rămâne stabil, adică menținerea echilibrului, ca răspuns la fluctuațiile de mediu.

Pentru analiza în cauză, primul aspect este de interes.

Protejarea biosferei împotriva activităților legate de organizație, reprezintă un criteriu fundamental pentru dezvoltarea durabilă. Este însă foarte dificil de măsurat, datorită multiplelor sale dimensiuni.

Protejarea biosferei presupune:

- stabilizarea acesteia în fața amenințărilor de tipul gazelor cu efect de seră şi a substanțelor cu capacitate distructivă asupra păturii de ozon;
- menținerea capacității de susținere a sistemelor naturale (păduri, terenuri agricole, iazuri piscicole);
- protejarea capacității asimilative a aerului, apei şi solului în raport cu emisiile şi eliminarea deşeurilor.

Un alt aspect care îngreunează rezolvarea problemei este cel al dezvoltării continue a cunoaşterii ştiințifice şi totodată a incertitudinii care înconjoară aceste cunoştințe, în momentul în care este necesară luarea deciziei.

Datorită complexității problemei ridicate de protejarea biosferei, se impune respectarea unor strategii de protecție. Există două strategii principale (United Nations Industrial Development Organization, 2002):

- **Păstrarea emisiilor şi evacuărilor anuale de deşeuri generate de activitățile organizațiilor în limitele standardelor de mediu. Standardele de mediu**, stabilesc concentrațiile acceptabile ale diverşilor poluanți în mediul înconjurător. Aceste standarde sunt fundamentate pe efectele pe care le au substanțele poluante asupra sănătății umane, florei şi faunei şi adeseori variază, în special în ceea ce priveşte cantitatea apei, deoarece depind de utilizările pe care le are corpul de apă receptor (pentru râurile care constituie surse de apă de băut, standardele sunt mult mai restrictive). Acest tip de standarde este dificil de elaborat datorită informațiilor ştiințifice inadecvate, în special a celor legate de concentrațiile scăzute ale chimicalelor toxice. Suplimentar, ele sunt şi dificil de implementat, deoarece este nevoie de procese de modelare complexe, pentru a relaționa evacuările şi emisiile industriale de concentrațiile ambiante globale.

La **nivel național şi internațional** există standarde ambiante pentru poluanții obişnuiți, cum sunt particulele solide şi SO_2 şi pentru câțiva poluanți toxici, cum sunt metalele grele şi anumiți compuşi organici.

Ca o alternativă la standardele ambiante, au fost elaborate standardele de descărcare. Standardele de descărcare sunt exprimate în termenii concentrației substanței poluante în curentul efluent, sau în termenii cantității permise de substanță poluantă evacuată pe unitatea de materie primă sau produs finit. Aceste standarde, care au evoluat în ultimii ani, sunt determinate în baza tehnologiilor disponibile şi a considerațiilor economice. Deşi ele elimină problema relaționării emisiilor sau evacuărilor cu concentrațiile ambiante, standardele de descărcare pot reduce evacuările de poluanți într-o măsură mai mare sau mai redusă decât este necesar pentru protejarea mediului;

- **Stabilizarea şi reducerea încărcăturii totale a poluanților, de importanță**

regională şi locală

Această strategie, care se naşte în prezent în lumina problemelor de mediu globale şi regionale, este mult mai restrictivă. Ea cunoaşte limitele ştiinţei în a determina concentrații acceptabile pentru poluanții care au efecte ireversibile asupra mediului. Poluanții în cauză sunt cei asociați problemelor globale şi regionale, în special în ceea ce priveşte încălzirea globală a Terrei, epuizarea stratului de ozon şi depozitările acide şi a celor care provoacă deteriorarea ecosistemelor acvatice (metalele grele toxice şi hidrocarburile clorurate). Scopul elaborării standardelor încărcăturii totale de poluanți este acela de a reduce încărcătura poluantă asupra mediului, la un nivel mai scăzut decât cel al standardelor ambiante.

Îndeplinirea cerințelor standardelor încărcăturii totale de poluanți reprezintă o strategie mult mai costisitoare şi îndelungată, dar şi o strategie mai importantă, deoarece va impune limitări mai restrictive decât standardele ambiante. Standardele încărcăturii totale de poluanți solicită nivele mai reduse ale evacuărilor de poluanți, astfel încât să poată fi protejat stratul de ozon, stabilizat sistemul climatic şi ciclurile cheie ale carbonului, oxigenului, azotului şi sulfului.

Este important să se admită faptul că pentru realizarea dezvoltării durabile a organizațiilor nu este suficientă reducerea continuă a emisiilor poluante pe unitatea de produs. Emisiile trebuie reduse în termeni absoluți, pentru organizația privită ca un întreg. Pe termen lung aceasta implică:

- înlocuirea masivă a combustibililor fosili (în special a cărbunelui) cu resursele regenerabile (energia solară, biomasa);
- închiderea ciclurilor de materiale şi produse prin intermediul unor procese şi produse optime.

- **Eco-Eficiența.** Preocuparea predominantă a dezvoltării durabile este protejarea mediului natural. Această protecție trebuie însă făcută într-o manieră eficientă.

Astfel, dacă există alternative de menținere a eco-capacității, trebuie aleasă acea soluție care minimizează input-ul (spre exemplu de energie) pe unitatea de produs, sau care maximizează numărul de produse pe un input dat. Aceasta derivă din faptul că noțiunea de dezvoltare este esențială pentru dezvoltarea durabilă a organizației, iar dezvoltarea la rândul său implică creşterea nivelului de trai, cel puțin în sens larg. Aşa cum o atestă istoria economiei, dezvoltarea economică prin intermediul proceselor transformării materiilor prime în produse a constituit multă vreme calea către standarde mai înalte de viață. Din acest motiv, politicile organizațiilor trebuie să fie consistente cu realizarea celei mai eficiente conversii a materiilor prime în produse.

- **Echitatea** Problema echității îmbracă multiple aspecte.
  - **Distribuția echitabilă a bunurilor furnizate de dezvoltarea cunoscută de organizație şi a greutăților produse prin degradarea mediului înconjurător.**
  - **Abordarea problemei la scară globală.**
  - **Echitatea între generații.**

Impactul uman asupra mediului natural depinde în mod fundamental de

interacțiunea existentă între populație, creşterea economică şi tehnologie. El poate fi pus în evidență de următoarea identitate:

$$\text{Poluare} = \frac{\text{Poluare}}{\text{PIB}} \times \frac{PIB}{Populație} \times Populație\,. \qquad (17.1)$$

în care: $\frac{Poluare}{PIB}$ este intensitatea poluării; $\frac{PIB}{Populatie}$ - gradul de dezvoltare

În această relație, poluarea, înțeleasă ca degradare a mediului apare ca produs al populației, funcție de nivelul veniturilor (termenul PIB pe cap de locuitor) şi intensității poluării provocată de producție (termenul Poluare/PIB).

- **Conceptul de ecoproducție** evoluează din conceptele anterioare de tehnologie curată şi tehnologie fără deşeuri sau cu producerea redusă de deşeuri. Conceptul mai vechi de tehnologie curată era privit în 1979 de Comisia Comunității Europene ca având trei scopuri distincte, dar complementare:
- mai puțini poluanți evacuați în mediu natural (apă, aer, sol);
- mai puține deşeuri (tehnologie fără deşeuri sau cu producere redusă de deşeuri);
- cerere mai scăzută de resurse naturale (apă, energie şi materii prime).

Deşi nu există încă o definiție unanim agreată a ecoproducției, ca de altfel nici pentru dezvoltarea durabilă, există un oarecare consens exprimat cu ocazia Seminarului pentru promovarea producțiilor curate, organizat de Programul Națiunilor Unite pentru Mediu.

Ecoproducția reprezintă o abordare globală a protecției mediului, care cuprinde toate fazele procesului de producție sau ale ciclului de viață al produselor, având obiectivul de a preveni şi minimiza riscurile pe termen lung şi scurt pentru oameni şi mediu. Ecoproducția este benefică pentru mediu, deoarece reduce poluarea. De asemenea, organizațiile ecotehnologice care urmează acest tip de abordare preventivă a poluării, au câteva beneficii directe, cum sunt.

- realizarea unei economii de costuri prin reducerea risipei de materii prime şi energie;
- îmbunătățirea eficienței organizației;
- realizarea unei mai bune calități a produselor, deoarece funcționarea organizației este mai uşor de anticipat;
- recuperarea anumitor materii irosite.

Ecoproducția necesită:

- aplicarea expertizei;
- îmbunătățirea tehnologiei;
- schimbarea atitudinilor.

Prin noua abordare care se naşte în managementul mediului, prioritățile managementului poluanților sunt complet răsturnate. Astfel, prima prioritate ierarhică este prevenirea poluării, cum sunt modificările proceselor şi ale produselor, reciclarea şi recuperarea la locul producției, înainte de luarea măsurilor de reducere a poluării. Această nouă ierarhie arată în felul următor:

- prevenire;

- reducere;
- reutilizare şi reciclare;
- tratare cu recuperare de energie şi materiale;
- tratare;
- depozitare finală.

Această abordare a managementului mediului se dezvoltă datorită faptului că organizațiile ecotehnologice, şi în special companiile progresiste:

- realizează faptul că noile priorități sunt mai puțin costisitoare şi din acest motiv constituie o abordare mai profitabilă a managementului mediului;
- sunt conştiente de faptul că mai devreme sau mai târziu vor fi forțate de Guvern sau de presiunea publică să reducă presiunea poluării asupra mediului.

Etapele necesare pentru introducerea unui program de realizare a unei eco-producții într-o organizație pot fi sintetizate după cum urmează:

- Elaborarea şi implementarea unei politici de mediu atotcuprinzătoare la nivelul corporației care să se axeze pe prevenirea poluării;
- Stabilirea unor obiective ale corporației, privind programul de introducere a ecoproducției, cu fixarea unei agende bine precizate;
- Alocarea responsabilităților, timpului şi suportului financiar pentru întregul program;
- Implicarea angajaților la toate nivelele;
- Elaborarea de proceduri de contabilizare a reducerii de deşeuri în cadrul companiei şi utilizarea acestora în mod regulat pentru a identifica, evalua şi elimina deşeurile, la fiecare etapă a procesului productiv;
- Obținerea şi utilizarea celor mai bune informații tehnice şi de altă natură atât din interiorul, cât şi din exteriorul companiei;
- Monitorizarea şi evaluarea progresului programului;
- Informarea regulată a tuturor angajaților asupra progresului realizat de companie, în legătură cu producția curată în ultima lună, în ultimele şase luni, ultimul an sau ultimii cinci ani;
- Încurajarea şi recompensarea eforturilor individuale şi colective fructuoase, în implementarea producțiilor curate;
- Conştientizarea faptului că realizarea producției curate reprezintă o călătorie şi nu o destinație. Modernizarea regulată a obiectivelor şi orarilor de minimizare a cantității de deşeuri.

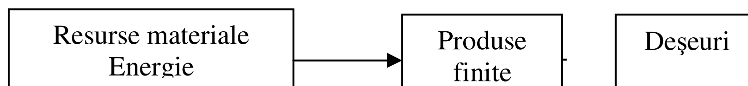
- **Identificarea posibilităților de introducere a ecoproducției într-o organizație ecologică**

Într-o organizație dată, este necesar să se studieze de unde anume provine poluarea, pentru a putea lua cele mai eficiente măsuri de remediere din punct de vedere economic. Una dintre modalități este aceea de contabilizare a deşeurilor, metodă care analizează în mod sistematic toate procesele şi operațiile. Ideea care stă la baza acestei contabilizări este aceea că, orice materie primă care nu se

regăseşte într-un produs, trebuie eliminată ca deşeu. Procedura de contabilizare identifică în mod sistematic aceste pierderi.

17.2. MODELUL TEORETIC DE DETERMINARE A POTENŢIALULUI POLUANT AL UNEI ORGANIZAŢII ECOTEHNOLOGICE

Baza determinării potenţialului poluant o constituie deşeurile poluante, care rezultă pe fondul tehnologiilor actuale, din procesele de producţie "liniare".



Din sistemul de fabricaţie rezultă produse finite şi subproduse de proces: materiale care se recuperează şi se valorifică prin reciclare, deşeuri nepoluante, deşeuri poluante etc.

În cazul surselor energetice, ieşirile din proces sunt regăsite şi sub forma resurselor energetice recuperabile şi a pierderilor de apă poluată termic, căldura produselor finite, gaze calde evacuate la coş.

Pentru determinarea potenţialului poluant al unei platforme industriale al unei zone, prezintă interes şi acele produse finite (pesticide, îngrăşăminte chimice azotoase, combustibili petrolieri cu aditivi etc.) care, prin utilizare, au impact negativ asupra mediului. La fel se întâmplă cu ambalajele nebiodegradabile sau cu detergenţii pe bază de fosfaţi.

Pentru o platformă industrială contează nu numai cantitatea de substanţe poluante emise în mediu, ci şi gradul de dispersare şi timpul de remanenţă, de persistenţă a acestora pe suprafaţa respectivă, până când se deplasează sau sunt asimilate de ecosistem.

Calculele se pot face cu oarecare certitudine pe termen scurt, deoarece nu se modifică informaţile de intrare ale sistemului de fabricaţie(know-howul, regulamentul de fabricaţie, pregătirea şi experienţa personalului, brevetele, programele de calculator, calitatea materiilor prime, consumurile specifice, tehnologiile etc). Pentru întocmirea unui model se poate proceda astfel:

Se cuantifică pierderea de resurse naturale (materii prime, auxiliare, catalizatori etc.), regăsită şi sub denumirea de subproduse de proces şi notată cu $\Sigma\Delta M$ folosind expresia :

$$\Sigma\Delta M = \Sigma M_i - \Sigma M_e \qquad (17.2)$$

în care: ΣM_i este cantitatea de resurse materiale introdusă în procesul de fabricaţie într-o unitate de timp; ΣM_e este cantitatea de resurse materiale regăsită în produsul finit.

Trebuie spus că, dacă unele materiale se reciclează sau se recuperează în vederea valorificării, $\Sigma\Delta M$ se modifică în mod corespunzător. De asemenea, din categoria subproduselor de proces, numai substanţele nocive se regăsesc în potenţialul poluant al platformei industriale.

Se cuantifică cantitatea resurselor energetice disipată în factorii de mediu notată cu ΣΔE, folosind expresia:

$$\mathbf{\Sigma\Delta E = \Sigma E_i - \Sigma E_e} \quad (17.3)$$

unde: ΣE_i este cantitatea totală de energie introdusă în sistem; ΣE_e este cantitatea echivalentă de energie regăsită în produsele finite (pentru desfăşurarea reacțiilor chimice, pentru modificarea stării de agregare etc.).

La fel ca la materii prime, recuperarea parțială a energiei reziduale diminuează mărimea lui ΣΔE .

În ceea ce priveşte potențialul poluant al platformei industriale, interesează, în primul rând, energia evacuată sub forma apelor poluate termic.

După aceste precizări, ΣΔM şi ΣΔE se identifică prin volumul reziduurilor de fabricație, poluante, evacuate în mediul înconjurător. În această aproximare, ΣΔM şi ΣΔE pot servi la caracterizarea materialintensivității şi energointensivității procesului tehnologic şi al eficienței cu care societatea reuşeşte să valorifice resursele naturale.

Mărimile M_i, E_i, M_e, E_e tipice fiecărui proces de fabricație, ajută la evidențierea rezervelor fiecărui proces față de stadiul tehnologiei moderne, iar ΣΔM şi ΣΔE sunt şi măsura gradului de încărcare a ecosistemului cu deşeuri poluante; (se asociază sistemului de fabricație un vector de timp care marchează evoluția sistemului. Pe acest vector se stabileşte durata de viață a substanțelor eliminate în afara perimetrului platformei industriale, numită în literatura de specialitate persistență sau remanență în factorii de mediu, timpul de înjumătățire a dozei poluante).

Setul de indicatori de timp se completează cu durata acceptată pentru epuizarea resurselor naturale proprii (când este cazul). Conform regulilor ecotehnologiei se convine ca această durată să fie mai mare decât cea corespunzătoare unei generații umane, pentru a da răgazul găsirii resurselor alternative în cazul celor deficitare.

Timpul de persistență a substanțelor poluante în factorii de mediu T_m dă o dimensiune nouă potențialului poluant al platformelor industriale. El intervine şi în calculul normării concentrației maxime admisibile C.M.A. a fiecărui poluant, estimând timpul necesar biodegradării substanței poluante evacuate în mediu.

La descrierea modelului teoretic trebuie implicate şi informațiile intrate, generate de sistemul de fabricație şi ieşite din acesta, făcându-se o legătură directă între "informatizarea" sistemului şi reducerea cantității de noxe provocate de el.

În realizarea modelului se poate ține cont şi de împrăştierea unor poluanți M_y la timpul t, pentru o producție Y,care se poate determina cu ajutorul relației:

$$\mathbf{M_y = \Sigma a_{it} \cdot s_{it} \cdot Y_t}, \quad (17.4)$$

în care: Y_t este nivelul prevăzut al producției respective; s_{it} este partea de output din sectorul i;

a_{it} - cantitatea de deşeuri (poluare) generate pe unitatea de output în sectorul i.

Grossman şi Krueger (1993) au observat o relaţie între concentraţiile de CO_2 şi nivelurile de venit pe cap de locuitor. De la revoluţia industrială încoace, concentraţiile de CO_2 au crescut cu 25%. Ele sporesc o dată cu nivelul activităţii economice până se atinge un nivel de 4.000 – 14.000 de dolari pe locuitor, după care scad brusc.

Ţările cu venituri mici au şansa (unică) să înveţe din experienţa ţărilor dezvoltate şi astfel să evite din greşelile săvârşite asupra mediului de acestea. Studiile arată că, pentru o ţară cu un nivel dat al venitului per capital, calitatea mediului este mai bună decât pentru o alta, care era la acelaşi nivel în urmă cu zece ani.

Transferurile de tehnologie către ţările în curs de dezvoltare ar putea să continue sau chiar să accelereze această tendinţă.

Cunoaşterea potenţialului poluant al unei platforme industriale este premisa necesară pentru elaborarea obiectivelor strategiei de dezvoltare şi reducere a impactului ei asupra mediului, pentru alcătuirea programelor de refacere a mediului.

Indicatorii cu care se operează pentru evaluarea intensităţii poluării sunt:

- calitatea de deşeuri poluante, care se referă la substanţele chimice, radioactive, microbiologice sau la apele poluate termic;
- cantitatea echivalentă de poluanţi, folosită atunci când numărul poluanţilor chimici este foarte mare, făcând dificilă aprecierea în timp a ansamblului fenomenului. În acest caz, se convine să se calculeze o cantitate echivalentă, prin intermediul C.M.A. a fiecăruia din agenţii poluanţi, în raport cu un poluant tipic considerat etalon (C.M.A. = 1).
- durata medie de viaţă a poluanţilor, determinată ca medie ponderată: cantitatea de poluanţi cu duratele individuale ale poluanţilor.

Se consideră însă că această metodologie este perfectibilă deoarece:

- unităţile industriale nu urmăresc procesul de poluare al tuturor factorilor de mediu, îndeosebi a solului, a apelor freatice etc.;
- nu se utilizează controlul radioactivităţii produselor şi subproduselor de proces microbiologic al apelor etc.;
- se urmăresc numai cantităţile de substanţe poluante provenite din procesele tehnologice. Sunt neglijate cele ce provin din activitatea magaziilor, rampelor, depozitelor, atelierelor de întreţinere, laboratoarelor, cantinelor, grupurilor sanitare, gospodăriilor anexe, accidentelor tehnologice etc.;
- nu există preocupări pentru inventarierea tuturor substanţelor nocive. Afirmaţia se bazează pe faptul că, în condiţiile actualelor tehnologii, la un nomenclator de 11.000 de produse, inclusiv unele tipodimensiuni rezultă câteva zeci de mii de subproduse de proces, din care numai circa 100 au fost testate şi catalogate ca substanţe nocive, fiind incluse în normele de concentraţie admisibilă în factorii de mediu;
- organizaţiile guvernamentale controlează fenomenul de poluare industrială numai prin concentraţiile maxime admise, nu şi prin cantităţi în mărime absolută, ceea ce face ca o unitate poluantă să

deverseze într-o apă de suprafață orice cantități de noxe, cu condiția ca apele reziduale evacuate de uzină să se încadreze în limitele C.M.A.;
- normele C.M.A. stabilite la un moment dat depind de informațiile acumulate până în acel moment, ulterior putând fi modificate. În plus normarea C.M.A. depinde de cunoaşterea mecanismului poluării, dar şi de disponibilitățile tehnice şi economice de a reduce concentrația efluenților poluanți.

Obstacole în calea realizării unor organizații ecotehnologice

Din categoria obstacolelor întâlnite în calea realizării unei organizații ecotehnologice se pot enumera :

- rezistența manifestată față de ideile şi abordările noi, pentru care personalul organizației nu are nici un fel de instruire formală. Proiectele demonstrative sunt esențiale pentru a arăta că ecoproducția poate funcționa şi în țara noastră sau în compania noastră;
- lipsa de resurse financiare, conştientizare şi instruire, experiență, informare şi acces la cunoştințele existente;
- incertitudinile legate de informațiile adecvate, tehnologiile sau reglementările legale;
- politicile sau reglementările guvernamentale care se axează pe reducerea unui singur tip de poluant şi care descurajează soluțiile inovatoare de reducere a poluării şi cele care oferă stimulente pentru investițiile în tehnologiile de eliminare a poluării la capătul conductei;
- lipsa de familiarizare a inginerilor şi consilierilor cu practicile şi tehnicile producțiilor curate. Adeseori, aceştia nu acordă suficientă atenție îmbunătățirii autogospodăririi, a micilor modificări necesare la echipamentele existente, sau altor probleme mai puțin tehnice, care pot fi foarte eficiente economic;
- frica de a ocupa o posibilă poziție dezavantajoasă din punct de vedere competițional, datorită costurilor ridicate.

O organizație care adoptă un proces de ecoproducție, poate realiza unul sau mai multe dintre următoarele beneficii, în acelaşi timp cu reducerea poluării:

- economii de materii prime şi energie;
- costuri mai scăzute de management al deşeurilor;
- calitatea îmbunătățită a produselor;
- productivitate crescută;
- reducerea riscurilor de boală a muncitorilor şi a pericolelor asupra mediului;
- îmbunătățirea imaginii publice a întreprinderii.

17.3. ELABORAREA UNUI MODEL DE ORGANIZAȚIE ECOTEHNOLOGICĂ

17.3.1.Inițierea implementării modelului organizației ecotehnologice

Fiecare tip de organizație are specificul ei de organizare şi funcționare şi

din acest punct de vedere, este dificil să se recomande o metodologie comună, aplicabilă oriunde şi oricând şi al cărei succes este garantat întotdeauna. Deşi consultanţii dispun adeseori de metodologii proprii, uneori chiar foarte performante, bazate pe o bogată experienţă profesională, totuşi nu se poate spune că există o singură cale de reuşită. În continuare se vor preciza câteva idei şi indicaţii care să folosească celor ce doresc să implementeze sau să menţină un astfel de sistem.

17.3.1.1. Crearea unui climat al schimbării. În cadrul organizaţiilor au loc o serie de schimbări; unele sunt de mică anvergură, influenţând un individ sau un grup restrâns de indivizi, ca de exemplu schimbări mici în organizarea muncii la un loc de muncă; altele sunt de amploare mare, influenţând organizaţia în ansamblu ei sau domenii majore ale acesteia, (ca de exemplu asimilarea unui nou produs sau implementarea unui nou sistem de management)

Schematic, procesul schimbării se prezintă în figura 17.1. O organizaţie trebuie să fie conştientă de presiunile existente pe piaţă şi să dezvolte strategii corespunzătoare pentru a câştiga clienţi pe baza criteriilor de competitivitate existente pe piaţă în acel moment.

Realitatea este că, doar criteriile de competitivitate conduc piaţa. Organizaţia nu poate modifica aceste criterii, iar mediul care creează presiunile externe nu se va modifica. De aceea, schimbarea trebuie să vină din partea organizaţiei. În figura 17.2. se ilustrează consecinţele rezultate în urma ignorării forţelor prezente pe piaţă şi a evitării acţiunilor de schimbare.

Există nenumărate exemple de organizaţii care au plătit scump ignorarea modificării condiţiilor pieţelor ezitând sau refuzând să se adapteze la aceste schimbări. Schimbările sunt modificări reale care se aplică în orice parte componentă a organizaţiei: planuri şi programe de activitate, domeniul de acţiune al managementului, maşini şi utilaje, echipamente, structura de organizare, oamenii înşişi etc.

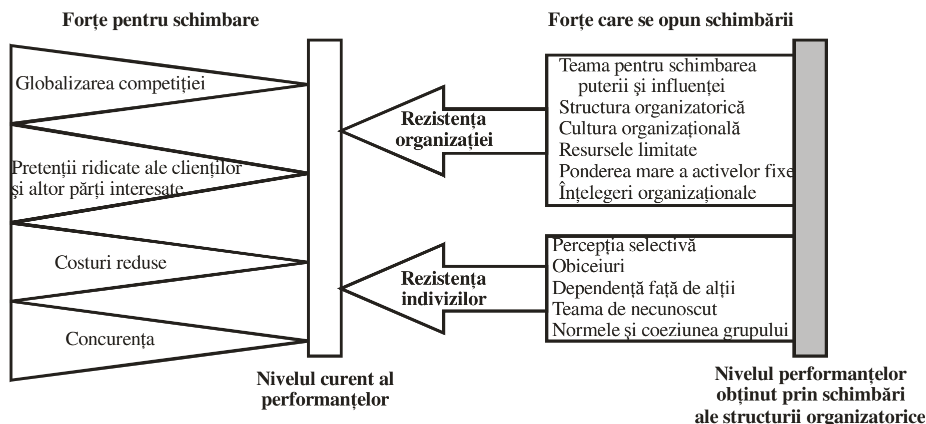


Fig. 17.1. Procesul schimbării organizaţionale.

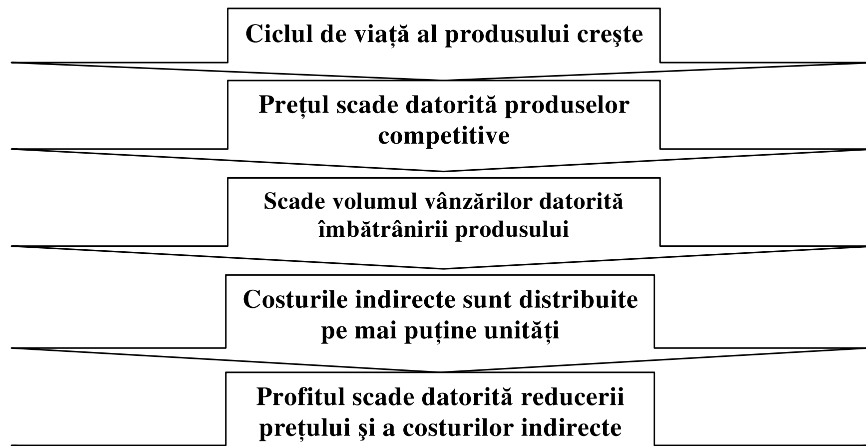


Fig. 17.2. Consecințele ignorării schimbării

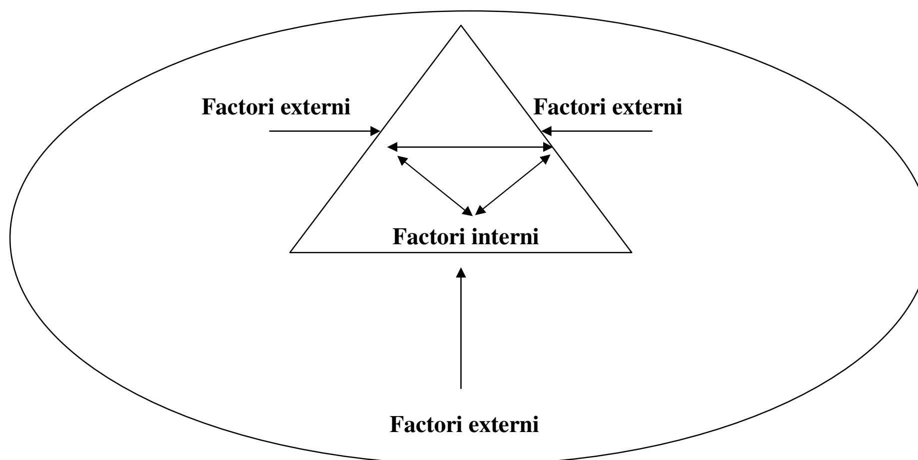


Fig. 17.3. Factorii interni şi externi ai schimbării

În figura 17.3 se reprezintă schemele factorilor interni şi externi care pot produce schimbări într-o organizație.

Factorii externi ai schimbării derivă din factorii mediului organizațional extern: general şi specifici (fig. 17.1 şi fig. 17.2).

17.3.1.2. Conştientizarea necesității implementării managementului mediului. Managerii din diverse organizații recunosc, în general, nevoia pentru schimbare, ca pe o modalitate de a face față presiunilor competitive, dar mulți nu înțeleg cum trebuie să fie implementată schimbarea.

Cheia către succes este de a integra angajații, rolurile şi responsabilitățile acestora din cadrul organizației, în cadrul unei structuri de procese. O abordare bazată pe procese şi începând cu declararea viziunii şi misiunii, analizând factorii critici de succes şi identificând procesele de bază, este cel mai eficient mod de angajare a personalului în procesul schimbării (tab. 17.1).

Tabelul 17.1. **Acţiunile necesare schimbării**

Valori	Acţiuni necesare
Atitudinea faţă de părţile interesate de performanţele de mediu.	Comunicarea rezultatelor studiilor asupra părţilor interesate către toţi angajaţii; includerea gradului de satisfacţie a acestora ca element cheie pentru planul de mediu; aprecierea şi recompensarea individuală pentru un serviciu excepţional.
Munca în echipă şi cooperarea.	Utilizarea extensivă a echipelor de îmbunătăţire a calităţii; recompensarea membrilor echipei după sistemul de apreciere a activităţilor speciale.
Internalizarea relaţiei client–furnizor.	Utilizarea conducerii calităţii mediului la nivel compartimental; încurajarea interacţiunii dintre compartimente.
Dirijarea tuturor indicatorilor în funcţie de gradul de mulţumire a părţilor interesate.	Comunicarea acestui concept la toţi angajaţii; satisfacerea părţilor interesate sunt obiectivele de vârf care relevă performanţele organizaţiei.
Primordialitatea îmbunătăţirilor pe termen lung faţă de ameliorările rapide.	Echipele să urmărească soluţionarea problemelor bazate pe fapte; respingerea soluţiilor rapide care nu sunt susţinute de date.
Faptele şi datele sunt preferate în locul bănuielilor şi prezumţiilor.	Pregătirea echipelor pentru soluţionarea problemelor bazate pe fapte; sprijinirea echipelor de conducere pentru diagnosticare corectă, bazată pe date obiective.
Concentrarea pentru găsirea soluţiilor, nu a greşelilor.	Aprecierea acelor angajaţi care descoperă probleme noi şi care lucrează la soluţionarea lor.
Implicarea totală a angajaţilor.	Urmărirea îndeaproape a angajaţilor implicaţi; uşurarea eforturilor pentru obţinerea calităţii şi a performanţelor de mediu; aprecierea implicării angajaţilor în aprecierea culturii organizaţiei.
Abordarea calităţii mediului în contextul organizaţiei.	Structura sistemului de calitate trebuie integrată în cea existentă; stabilirea de obiective şi planuri pe termen lung pentru calitatea mediului; demersul în domeniul calităţii mediului este un drum nou care trebuie urmat.
Orientarea spre o calitate a mediului este un proces intensiv.	Recrutarea şi formarea personalului adecvat; popularizarea politicii în domeniul calităţii mediului în spiritul formării unei noi atitudini a personalului; aprecierea, promovarea şi recompensarea personalului cu merite în domeniul calităţii mediului.
Promovarea unui spirit de angajare pentru mediu.	Implicarea totală a conducerii de vârf; disponibilizarea resurselor necesare; răbdare şi perseverenţă în acţiune; afilierea la organizaţiile locale, naţionale şi internaţionale care au ca obiectiv calitatea mediului.

Managementul superior trebuie să înceapă dezvoltarea noii structuri orientate pe proces prin angajamentul la toate nivelurile respectând anumite etape. Punctul de start trebuie să fie o analiză generală a organizaţiei şi a transformărilor solicitate de echipa managerială. Prin realizarea acestei analize diagnostic asupra schimbărilor impuse, asupra problemelor care există şi asupra domeniilor care

trebuie îmbunătățite, se obține un angajament inițial, vital pentru începerea procesului de transformare.

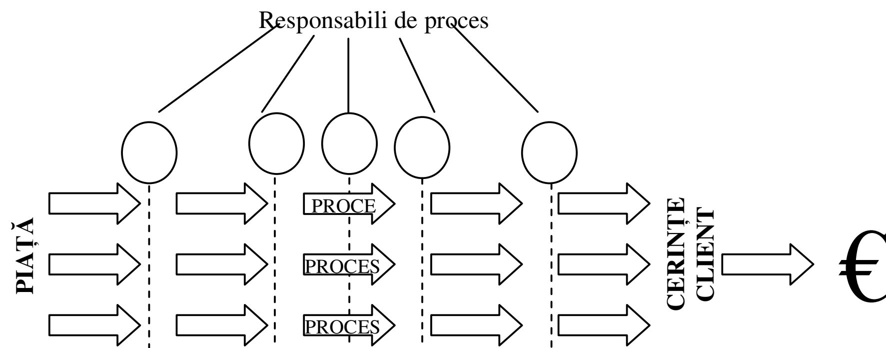


Fig. 17.4. Arhitectură de procese

Procesele de bază descriu ce se realizează sau ce trebuie să fie făcut astfel încât organizația să realizeze factorii de succes. Prima etapă în înțelegerea proceselor de bază este de a identifica o rețea, arhitectură de procese de același ordin de importanță (fig. 17.4).

Odată procesele de bază definite, este necesar ca pentru noua structură de procese să fie stabilite obiectivele, țintele și indicatorii de performanță. Este necesară, de asemenea, descompunerea proceselor de bază în subprocese, activități și sarcini. O imagine asupra modului în care trebuie realizată structura de procese, se prezintă în fig. 17.5. Sarcinile sunt realizate de către indivizi. Angajatul trebuie să înțeleagă sarcina și poziția lui în ierarhia proceselor.

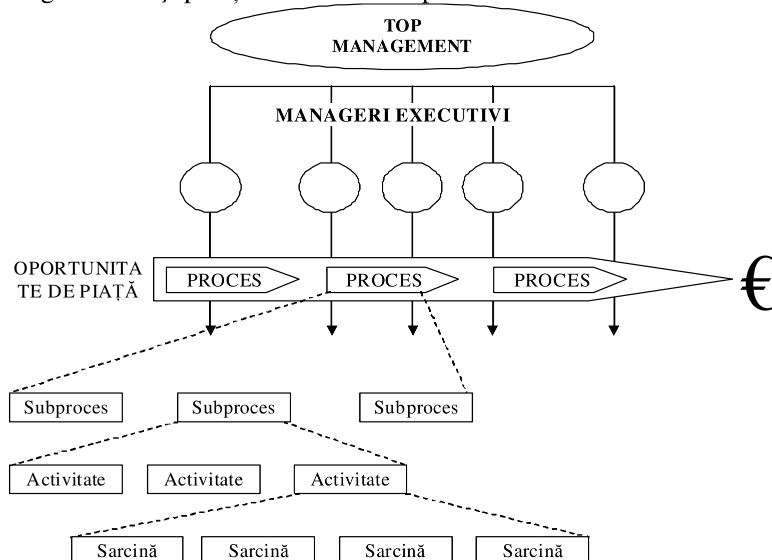


Fig. 17.5. Identificarea proceselor principale şi descompunerea lor

17.3.1.3. Implementarea sistemului de managementul mediului în cadrul organizației ecotehnologice. Politica reprezintă doar cadrul pentru stabilirea obiectivelor şi a țintelor de mediu specifice. Sunt, totuşi, organisme de certificare care cer ca aceste obiective să fie incluse explicit în cadrul politicii.

Politicile de mediu ale organizației de tip IMM evidențiază îndeplinirea cerințelor din standardul ISO 14001 referitoare la prevenirea poluării, angajamentul de conformitate cu legislația, este documentată şi poate oferi cadrul pentru stabilirea obiectivelor şi țintelor de mediu. Auditul poate evidenția dacă ea corespunde naturii, dimensiunilor şi impactului pe care activitățile, produsele şi serviciile organizației le au asupra mediului, sau dacă este implementată, menținută şi comunicată întregului personal.

Este indicat ca aspectele de mediu identificate încă de la început să reflecte cât mai complet situația reală din organizație în raport cu mediul.

Pentru a nu pierde din vedere aspectele esențiale, este indicat să se aibă în vedere pentru fiecare proces examinat schema prezentată în figura 17.6., care trebuie particularizată pentru fiecare proces analizat.

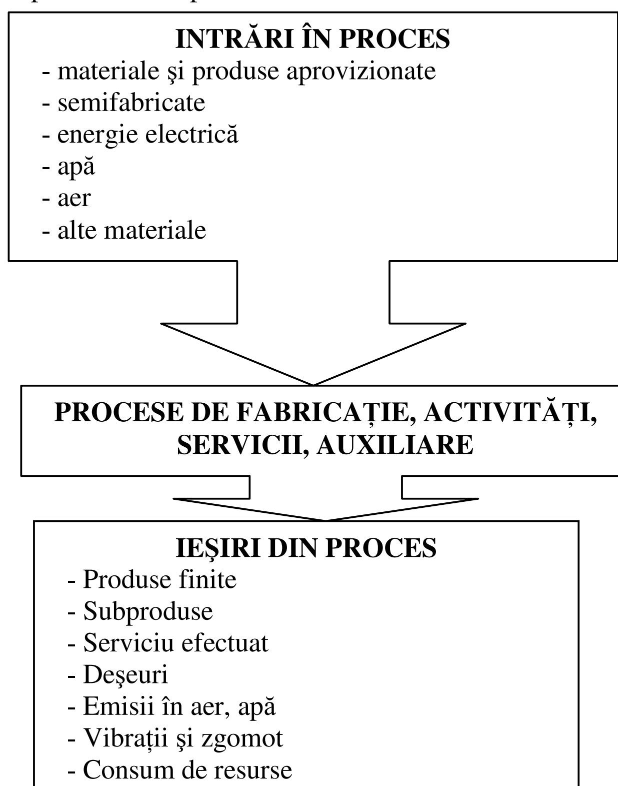


Fig. 17.6. Elemente de proces pentru planificarea de mediu.

- La stabilirea obiectivelor, țintelor şi programelor de mediu trebuie să se aibă în vedere neapărat aspectele semnificative de mediu de aceea

trebuie parcursă succesiunea precizată în figura 17.1 şi tabelele 17.2, 17..3 şi 17.4.

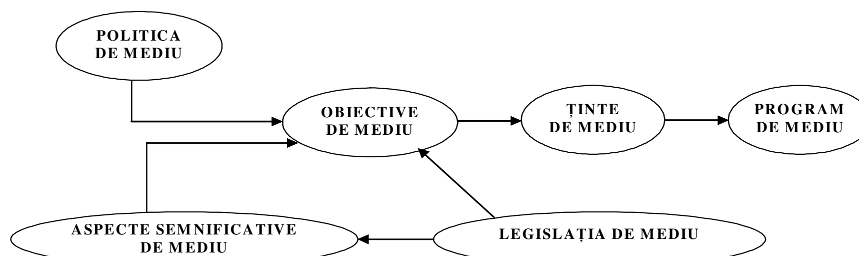


Fig. 17.7. Procesul planificării de mediu.

Tabelul 17.2. **Propunere privind planificarea de mediu – abordare sistemică**

Documente de lucru	**Intrare**	**Activităţi analiză**	**Ieşire**	**Responsabil**
0	**1**	**2**	**3**	**4**
Instr: * Identificarea aspecte de mediu	* Legi, reglementări	**ASPECTE DE MEDIU** * Identificarea aspectelor de mediu în raport cu: - produsele realizate; - procesele de fabricaţie; - activităţile desfăşurate; - serviciile prestate ⇩	* Fişa de identificare şi evaluare aspecte de mediu specifice activităţii/producţiei/serviciilor (cu criterii de evaluare).	* Echipa de identificare şi evaluare a aspectelor de mediu * Responsabil de mediu
	* Situaţia incidentelor de mediu	* Evaluarea şi cotarea aspectelor de mediu identificate	* Lipsa aspectelor de mediu	
* Cotare şi eval. aspecte de mediu	* Sinopticile de fabricaţie * Tehnologiile	⇩		
	* Chestionar sondare opinii părţi interesate	* Selectarea aspectelor de mediu care au sau pot avea un impact semnificativ asupra mediului ⇩	* Lipsa aspectelor de mediu semnificative	
	* Legi, reglementări	Actualizarea aspectelor de mediu cu impact semnificativ, la modificarea datelor de intrare sau a cerinţelor legale	* Lista aspectelor de mediu (actualizată)	

Tabelul 17.2. **(Continuare)**

0	1	2	3	4
		PREVEDERI LEGALE ŞI ALTE CERINȚE		
Instrucțiuni:	* Oferte, publicații legale	* Asigurarea accesului la legile şi reglementările referitoare la mediu ⇩	* Abonament la Monitorul Oficial Publicații de specialitate	Responsabil de mediu
* Asigurarea reglementărilor legale şi a altor cerințe de mediu	* Legi şi reglementări legale	* Analiza şi identificarea cerințelor legale referitoare la aspectele de mediu aplicabile produselor/proceselor, activităților şi serviciilor societății ⇩	* Registru prevederi legale şi alte cerințe	Echipa de analiză
* Analiza şi actualizarea cerințelor de mediu	* Documente tehnice şi comerciale	* Includerea cerințelor legale aplicabile în documentația de mediu referitoare la: - Obiective generale şi specifice - Program de management de mediu - Control operațional al aspectelor de mediu aplicabile produselor/ proceselor/ activităților/serviciilor - Monitorizare şi măsurare ⇩	* Documente tehnice şi comerciale cu cerințe de mediu	Funcțiunile responsabile
	* Legi reglementări, alte cerințe (actualizate)	* Evaluarea periodică (cel puțin o dată la 6 luni) a conformității documentației de mediu cu cerințele legale (legi, reglementări, hotărâri guvernamentale zonale sau locale)	* Documente de mediu actualizate	Responsabil de mediu

Tabelul 17.2. **(Continuare)**

0	1	2	3	4
		OBIECTIVELE ŞI ȚINTELE DE MEDIU		
Instrucțiuni: * Stabilire obiective şi program de mediu	* Politica de mediu * Legi, reglementări, hotărâri. guvernamentale, zonale, locale * Lista aspecte de mediu * Lista aspecte de mediu semnificative * Chestionar opinii părți interesate	* Stabilirea şi documentarea obiectivelor şi țintelor generale referitoare la mediu ⇩ * Stabilirea şi documentarea obiectivelor derivate şi țintelor referitoare la mediu Observație! La stabilirea obiectivelor şi țintelor de mediu trebuie luate în considerare următoarele aspecte: - politica de mediu; - cerințele legale - aspectele de mediu semnificative - natura şi aspectele tehnologice şi operaționale ale proceselor de fabricație; - oportunitățile financiare; - cerințele comerciale referitoare la mediu, - - punctul de vedere al tuturor părților interesate	* Planificarea şi programarea obiectivelor şi țintelor de mediu	Funcțiunile de conducere + Responsabil de mediu

Tabelul 17.2. **(Continuare)**

0	1	2	3	4
Instrucțiuni: * Stabilire obiective și program de mediu	* Politica de mediu * Legi, reglementări, hot. guvernamentale, zonale, locale * Lista aspecte de mediu * Lista aspecte de mediu semnificative * Chestionar opinii părți interesate * Planuri detaliate pe obiective și ținte * Rapoarte de analiză și actualizare a programului de mediu	**PROGRAM DE MANAGEMENT DE MEDIU** * Elaborarea programelor necesare atingerii obiectivelor generale de mediu sub aspectele: - obiectivul derivat, ținta, indicatorul de performanță; - responsabilii, calendar de desfășurare și finalizare; - activități și mijloace necesare ⇩ * Elaborarea programelor necesare atingerii obiectivelor și țintelor derivate și specifice sub aspectele: - obiectivul derivat și specific, ținta, indicatorul de performanță; - responsabilii, calendar de desfășurare și finalizare; - activități și mijloace necesare ⇩ Urmărirea și actualizarea sistematică a modului în care se progresează sau sunt atinse obiectivele și țintele de mediu: - prin analize anuale pentru obiectivele generale și derivate; - prin analize lunare pentru obiectivele și țintele derivate și specifice. ⇩ Actualizarea obiectivelor și țintelor în funcție de progresele realizate	* Planificarea și programarea obiectivelor și țintelor de mediu * Planuri detaliate pe obiective și ținte * Rapoarte de analiză și actualizare a programului de mediu * Planuri detaliate pe obiective și ținte (actualizate)	Funcțiunile de conducere + Responsabil de mediu + Funcțiunile implicate

Propunere privind implementarea şi funcţionarea sistemului de managementul mediului – abordare sistemică.

Tabelul 17.3.

Documente de lucru	**Intrare**	**Activități analiză**	**Ieşire**	**Responsabil**
0	**1**	**2**	**3**	**4**
	* Programe de instruire	**EFECTUAREA INSTRUIRII** pentru - Dobândire cunoştinţe, formare deprinderi şi competenţă necesare ⇩	* PV formare fişa individuală. * Atestare * Diplome	* Personalul organizaţiei
	* Necesar de instruire şi conştientizare	EVALUAREA INSTRUIRII		
Instrucţiuni: Instrucţiuni şi conştientizare personal	* Criterii de evaluare	- Evaluarea cursurilor prin: - analiza efectuării instruirii - analiza eficienţei instruirii prin testare înainte şi după curs - analiza periodică a eficienţei instruirii prin audit	*Fişe evaluare *Chestionar de evaluare	*Responsabil instruire *Responsabil instruire
		- Evaluarea lectorilor	*Fişe de evaluare	
	* Criterii de evaluare a eficienţei instruirii	Instruirea a fost eficientă? DA NU PERSONAL INSTRUIT ŞI CALIFICAT CORESPUNZĂTOR CERINŢELOR POSTULUI ŞI AVÂND COMPETENŢA NECESARĂ MM	* Plan acţiuni corective	*Responsabil de mediu

Tabelul 17.3. **(Continuare)**

0	1	2	3	4
Instrucţiuni: Instrucţiuni. şi conştientizare personal	* Politica de mediu. Legi. Reglementări.	**CONŞTIENTIZARE PRIVIND IMPORTANŢA CONFORMITĂŢII CU:** - politica de mediu - procedurile MM. - Cerinţele sistemului de MM prin: - instruire, afişe, discuţii cu angajaţii - difuzare staţie radioficare.	* PV formare	* Funcţiunile manageriale * Responsabil instruire
	* Lista aspectelor de mediu semnificative	⇩ CONŞTIENTIZARE PRIVIND: - Impacturile semnificative ale activităţilor asupra mediului (reale/posibile) - Efectele benefice aduse mediului prin îmbunătăţirea performanţelor individuale referitoare la mediu (afişe, discuţii, publicaţii interne)	* PV formare	* Responsabil de mediu
	* Programul anual de Instrucţiuni. a lucrătorilor de la punctele critice * Proceduri. Instrucţiuni operaţionale de mediu	⇩ CONŞTIENTIZAREA PRIVIND ATRIBUŢIILE ŞI RESPONSABILITĂŢILE PENTRU CONFORMAREA CU: - cerinţele referitoare la situaţii de urgenţă şi capacitatea de răspuns prin: - instruire - reuniuni şi discuţii deschise	* Plan acţ. corective * PV formare * PV formare	* Responsabil de mediu * Responsabil instruire * Responsabil de mediu
		⇩ CONŞTIENTIZAREA CU PRIVIRE LA CONSECINŢELE POSIBILE ALE ABATERILOR DE LA PROCEDURILE OPERAŢIONALE SPECIFICATE	* Afişaje, panouri * Plăcuţe avertizoare	

Tabelul 17.3. **(Continuare)**

0	1	2	3	4
Instrucțiuni: * Instrucțiuni comunicare * Controlul documentelor	* Manual. Proceduri. instrucțiuni * Legi Reglementări Cerințe * Politica de mediu * SR ISO 14001 * Legi Reglementări * Alte cerințe * Proceduri. Instrucțiuni * Manual. MM * Proceduri. Instrucțiuni * Alte doc. (înregistrări ş.a.) * Lista aspectelor de mediu semnificative * Programul anual de Instrucțiuni a lucrătorilor de la punctele critice * Proceduri. Instrucțiuni operaționale de mediu.	**COMUNICARE** - Realizarea comunicării interne referitoare la aspectele de mediu şi SMM ⇩ - Realizarea comunicării externe referitoare la aspectele de mediu ⇩ - Analiza şi evaluarea eficienței de realizare a comunicării, prin audituri DOCUMENTAȚIA SISTEMULUI DE MANAGEMENT DE MEDIU - Structura elementelor esențiale ale Sistemului Managementului de Mediu ⇩ - Stabilirea şi menținerea documentației SMM - descrierea elementelor esențiale ale SMM şi interacțiunea lor - indicarea accesului la documentația conexă ⇩ - Actualizarea procedurilor şi instrucțiunilor sistemului de mana-gement al calității cu cerințele specifice sistemului de mediu IDENTIFICAREA, LOCALIZAREA ŞI STABILIREA DOCUMENTELOR ŞI A DATELOR CARE TREBUIE ȚINUTE SUB CONTROL ⇩ ANALIZA, APROBAREA ŞI EMITEREA DOCUMENTELOR ŞI A DATELOR ŞI LOCUL DE UTILIZARE ⇩ RETRAGEREA CONTROLATĂ A DOC. NEVALABILE SAU PERIMATE ⇩ IDENTIFICAREA DOCUEMNTELOR PERIMATE PĂSTRATE ÎN SCOPURI JURIDICE SAU DE CONSERVARE A TRASABILITĂȚII ⇩ MODIFICAREA ŞI REVIZIA PERIODICĂ A DOCUMENTELOR ŞI A DATELOR	* Sinopticile de comunicare * Manual MM * Proceduri. Instrucțiuni * Alte doc. (înregistrări ş.a.) * Lista documentelor de referință * Documente (analizate şi aprobate) * Opis, Lista docum. de ref. retrase * Documente identificate prin inscripționare: „Păstrat în scop juridic sau de conservare a trasabilității” *Proces Verbal formare	* Toate funcțiunile implicate * Responsabil de mediu * Responsabil de mediu * Alte funcțiunile implicate * Funcțiunile implicate * Responsabil de mediu * Funcțiunile implicate * Responsabil de mediu

***Tabelul 17.3.* (Continuare)**

0	1	2	3	4
Instrucțiuni: * Identificare aspecte semnificative de mediu	* Fişa de identif. aspecte semnificative de mediu * Sinoptica de fabricație * Plan operații/fişe tehnologice * Legi. Reglementări. * Alte cerințe	**CONTROL OPERAȚIONAL** - Identificarea proceselor şi activităților asociate aspectelor de mediu semnificative ⇩ - Reglementarea modului de control operațional al aspectelor de mediu semnificative care fac obiectul politicii şi obiectivelor de mediu. ⇩	* Lista proceselor semnificative de mediu * Instrucțiuni operaționale de mediu	* Responsabil de mediu + * Tehnologi de proces
* Controlul operațional al proceselor		- Stipularea criteriilor de operare sub aspectele: - aspectul semnificativ de mediu - indicator de măsurare şi limite de acceptare - metoda de măsurare şi frecvența	* Criterii de mediu pentru procesele de fabric.	* Responsabil de mediu + * Tehnologi de proces
* Instrucțiuni operaționale de mediu	* Instrucțiuni operaționale de mediu * Criterii de mediu pentru procesele de fabric * Lista aspectelor de mediu semnificative	- EIMI-ul utilizat - modul de înregistrare - planul de reacție - responsabilul ⇩ - Menținerea controlului operațional asupra aspectelor de mediu semnificative prin: - monitorizarea caracteristicilor şi parametrilor produselor, proceselor/activităților cu impact semnificativ asupra mediului - tratarea neconformităților şi aplicarea acțiunilor corective necesare	* Grafice de urmărire caracteristici şi parametri de mediu (fişe control X-R; Fişe precontrol X-R * Alte înregistrări * Lista documentelor de referință	* Operatori + Inspectori de mediu
	* Listă materiale aprovizionate * Proceduri. Instrucțiuni operaționale de mediu.	⇩ - Actualizare standard, caiete de sarcini cu cerințe de mediu pentru produse aprovizionate ⇩ - Identificarea şi transmiterea la furnizori a cerințelor referitoare la mediu pentru produsele/serviciile achiziționate.	* Caiete de sarcini * Contracte * PV formare	* Responsabil de mediu + * Funcțiunile implicate * Responsabil aprovizionare

Tabelul 17.3. **(Continuare)**

0	1	2	3	4
		PREGĂTIREA PENTRU SITUAŢII DE URGENŢĂ ŞI CAPACITATE DE RĂSPUNS		
Instrucţiuni: * Pregătire pentru situaţii de urgenţă	* Fişa de identif. aspecte semnificative de mediu * Sinoptica de fabricaţie * Plan operaţii/fişe tehnologice * Lista punctelor critice unde pot proveni poluări accidentale	- Analiza aspectelor de mediu specifice produselor/proceselor/activităţilor, identificarea situaţiilor de urgenţă sau a incidentelor de mediu şi elaborarea programului. OBSERVAŢIE: Se ţine seama de posibilele emisii/evacuări/efecte accidentale asupra mediului rezultate în urma unor condiţii anormale de funcţionare a unor potenţiale accidente sau situaţii de urgenţă ⇩	* Program pentru situaţii de urgenţă şi capacitate de răspuns	* Responsabil de mediu + * Tehnologi de proces
* Instrucţiuni operaţionale	* Program de Instrucţiuni * Program pentru situaţii de urgenţă şi capacitate de răspuns	- Instruirea personalului implicat şi testarea periodică a modului de funcţionare a planului stabilit pentru situaţii de urgenţă. ⇩	* PV instruire * Teste * Raport de analiză	* Responsabil de mediu + * Funcţiunile implicate
	* Rapoarte de analiză (pt. sit. de urgenţă reale sau simulate)	- Simularea situaţiilor de urgenţă şi verificarea capacităţii de răspuns. ⇩	* Instrucţiuni operaţionale (actualizate după cum este cazul)	
	* Proceduri. Instrucţiuni operaţionale de mediu.	- Analiza şi revizia modului reglementat de acţiune în situaţii de urgenţă, a răspunsurilor efective în aceste situaţii, precum şi actualizarea programului de acţiune şi a reglementărilor respective.		* Responsabil de mediu + * Funcţiunile implicate

Tabelul 17.4. **Propunere privind verificarea şi corecţia – abordare sistemică**

Doc. lucru	Intrare	Activităţi aaliză	Ieşire	Responsabil
0	**1**	**2**	**3**	**4**
Instrucţiuni: * Instrucţiuni operaţionale	* Sinoptica de fabricaţie * Planul de op. * Fişa tehnologică * Instrucţiuni operaţionale de mediu * Criterii de mediu pentru procesele de fabricaţie * Proceduri. Instrucţiuni operaţionale de mediu. * Fişe: X-R; X-MR; Fişe de precontrol; Fişe de control operaţional	**MONITORIZARE ŞI MĂSURARE** - Identificarea operaţiilor şi activităţilor care au impact semnificativ asupra mediului ⇩ - Definirea şi asigurarea documentaţiei la locul de utilizare pentru monitorizarea şi măsurarea caracteristicilor produsului/procesului care au impact semnificativ asupra mediului ⇩ - Asigurarea echipamentelor de măsurare adecvate: - prin identificarea celor necesare - prin evaluare şi etalonare periodică - prin păstrarea lor în condiţii adecvate ⇩ - Măsurarea caracteristicilor produselor/proceselor care au impact semnificativ asupra mediului ⇩ - Înregistrarea şi păstrarea adecvată a datelor măsurătorilor de monitorizare ⇩ - Analiza şi evaluarea periodică (cel puţin la 6 luni o dată) a conformităţii caracteristicilor produselor/procesului cu impact asupra mediului, în raport cu legile şi reglementările de mediu în vigoare.	* Fişa de identificare aspecte semnificative de mediu * Instrucţiuni operaţionale de mediu * Criterii de mediu pentru procesele de fabricaţie * Mijloace de măsurare adecvate * Fişe: X-R; X-MR; Fişe de precontrol; Fişe de control operaţional * Raport de analiză	* Responsabil de mediu + * Tehnologi de proces * Funcţiuni manageriale * Operatori. Inspectori de mediu * Responsabil de mediu + * Funcţiunile implicate * Responsabil de mediu + * Funcţiunile implicate

***Tabelul 17.4.* (Continuare)**

0	1	2	3	4
		TRATAREA NECONFORMITĂŢILOR DE MEDIU		
	* Instrucţiuni şi criterii de operare	Identificarea neconformităţii intervenite:		
Instrucţiuni: * Instrucţiuni operaţionale	* Instrucţiuni operaţionale de mediu * Criterii de mediu pentru procesele de fabricaţie	- la primirea, depozitarea sau manipularea materialelor sau produselor; - în cursul proceselor de fabricaţie sau a serviciilor efectuate; - la întreţinerea utilajelor care pot genera impacturi asupra mediului; - la colectarea, depozitarea sau reutilizarea deşeurilor şi a ambalajelor; - la manipularea substanţelor periculoase şi toxice; - la neutralizarea sau tratarea efluenţilor sau a emisiilor în atmosferă, apă pe sol şi subsol; - la utilizarea corectă a resurselor; - la desfăşurarea activităţilor care pot avea impact asupra mediului; - în alte situaţii specifice.	* Raport de neconformitate	* Operatori. Inspectori de mediu * Responsabil de mediu + * Tehnologi de proces * Funcţiuni manageriale
Identificarea, analiza şi tratarea neconformităţilor	* Raport de neconformitate * Proceduri. Instrucţiuni operaţionale de mediu. * Raport de analiză	⇩ Analiza neconformităţii identificate pentru a determina: - gravitatea şi amploarea impactului asupra mediului; - durata şi mărimea zonei afectate; - cauzele producerii impactului; - responsabilităţile personalului implicat; - măsurile imediate pentru limitarea impactului sau pentru neutralizarea lui.	* Raport de analiză	* Responsabil de mediu + .0 *Funcţiunile implicate
		⇩ Tratarea neconformităţii - prin limitarea efectului; prin limitarea amploarei, gravităţii şi a duratei impactului.		* Responsabil de mediu + *Funcţiunile implicate

***Tabelul 17.4.* (Continuare)**

0	1	2	3	4
		INIȚIEREA ȘI APLICAREA ACȚIUNILOR CORECTIVE ȘI/SAU PREVENTIVE		
Instrucțiuni:	* Raport de neconformitate	Identificarea problemelor (prin analiza documentelor de referință): ⇩	* Raport 8D	
		Investigarea și identificarea cauzelor neconformităților existente sau posibile . ⇩	* Diagrama cauză-efect	* Operatori. Inspectori de mediu * Responsabil de mediu + * Funcțiuni manageriale
* Instrucțiuni operaționale * Stabilirea, aplicarea și verificarea eficienței acțiunilor corective și preventive	* Diagrama cauză-efect	Căutarea și selectarea soluțiilor adecvate (OBSERVAȚIE *). OBSERVAȚIE *: 1. La stabilirea soluțiilor se ține seama de cerințele și reglementările de mediu. 2. Soluția adoptată trebuie să se bazeze pe metodologia de prevenire a impacturilor semnificative asupra mediului, care ține seama și de riscurile de poluare pe care le-ar putea aduce soluția găsită. ⇩	* Raport 8D	
	* Diagrama cauză-efect	Stabilirea acțiunilor corective și preventive, a responsabilităților, resurselor și termenelor (OBSERVAȚIE **). OBSERVAȚIE **: Se va avea în vedere ca acțiunea corectivă/preventivă adoptată să conducă la eliminarea cauzelor neconformităților și la alte produse/procese similare. ⇩	* Raport 8D	* Responsabil de mediu + *Funcțiunile implicate
	* Raport 8D	Punerea în aplicare a acțiunilor stabilite ⇩	* Raport 8D (completat pentru aplicare)	Responsabil de mediu + * Funcțiunile implicate
	* Raport 8D	Verificarea aplicării acțiunilor și prezentarea rezultatelor funcțiunii responsabile cu evaluarea eficacității. ⇩	* Raport 8D (completat pentru verificare eficacitate)	* Responsabil de mediu
		Analiza și evaluarea eficacității. ⇩	* Instruc. mediu	
		Modificarea corespunzătoare a reglementărilor sistemului calității.	* Criterii de mediu (actualizate)	

***Tabelul 17.4.* (Continuare)**

0	1	2	3	4
Instrucțiuni:	* Proceduri. * Instrucțiuni operaționale de mediu	**CONTROLUL ÎNREGISTRĂRILOR** Identificarea înregistrărilor - Completare lizibilă - Denumire, formă, cod, datare, stabilirea responsabilităților de aprobare - Avizare, aprobare, emitere - Ediție și evoluția ei	* Formulare înregistrări	* Responsabil de mediu + *Funcțiuni implicate
* Controlul înregistrărilor	* Înregistrări	OBSERVAȚIE: - Înregistrările trebuie să permită regăsirea informațiilor privind activitatea, produsul sau serviciul implicat ⇩ Colectarea și indexarea		
	* Dosare, înregistrări * Opis dosar	⇩ Asigurarea accesului la înregistrări ⇩ Îndosarierea documentelor: - Identificarea rapidă, ușoară a tipului de documentație. - Regăsirea rapidă și facilă a acestora. - Protecția împotriva riscului de deteriorare/pierdere	* Dosare, înregistrări * Opis dosar	* Responsabil de mediu + *Funcțiuni implicate
	* Bibliorafturi identif.	⇩ Păstrarea documentelor	* Bibliorafturi identif.	* Responsabil de mediu + *Funcțiuni implicate
	* Bibliorafturi identif.	OBSERVAȚIE: Documentele se păstrează pentru: - regăsirea istoricului informațiilor - demonstrarea conformității cu condițiile specificate - a face dovada funcționării eficace a sistemului MM ⇩ ARHIVARE - În condiții de mediu corespunzătoare - Pentru prevenirea pierderii/distrugerii - Pentru regăsirea istoricului	Rafturi, dulapuri pentru documente Rafturi, dulapuri pentru documente	* Responsabil de mediu + *Funcțiuni implicate
		⇩ Retragerea / distrugerea sau Păstrarea		

17.3.1.4. Cerințe referitoare la analiza efectuată de conducere. Este esențial ca analizele efectuate de management să se desfășoare cu rigurozitate la

termenele planificate în mod periodic. Aceste analize trebuie să se bazeze, totdeauna, pe anumite date de intrare clar stabilite, care să evidenţieze modul de funcţionare a sistemului, gradul de îndeplinire a obiectivelor şi ţintelor stabilite, problemele întâmpinate, neconformităţile constatate, devierile de la demersul planificat şi de la ţintele propuse. Trebuie ca analiza aspectelor precizate mai sus să se facă întotdeauna cu funcţiunile implicate şi cu cele care pot oferi soluţii, dar şi cu cele care vor avea responsabilităţi în punerea în aplicare a acţiunilor ce se vor stabili. Prezenţa reprezentantului conducerii pentru managementul de mediu este întotdeauna necesară.

Analizele efectuate de conducere pot fi mult mai eficiente dacă se bazează pe rezultatele obţinute de una sau mai multe echipe de lucru, care au aplicat anterior tehnici de identificare a cauzelor care au dus la apariţia problemelor de mediu, a neconformităţilor, impacturilor nedorite sau la devieri de la obiectivele stabilite.

Întotdeauna analizele efectuate de conducere trebuie să ducă la anumite decizii, respectiv la acţiuni corective şi preventive, sau care să confirme, să corecteze sau să generalizeze unele acţiuni luate anterior. Aceste rezultate trebuie să fie întotdeauna documentate pe formulare care să permită o trasabilitate a acestora. Cu ocazia următoarei reuniuni de analiză trebuie verificată neapărat aplicarea şi eficienţa măsurilor stabilite. Acolo unde se constată nerealizări sau ineficienţă trebuie neapărat luate măsuri de corectare.

Trebuie folosite analizele conducerii şi, în special, deciziile luate cu aceste ocazii pentru a răspunde şi a fi în spiritul pozitiv de continuă îmbunătăţire pe care îl promovează standardul.

În sensul celor precizate mai sus, trebuie avute în vedere toate pârghiile pe care standardul le oferă şi chiar cele care vizează actualizări ale politicii, obiectivelor şi ţintelor de mediu.

17.4. REALIZAREA UNUI MODEL GENERAL AL UNEI ORGANIZAŢII ECOTEHNOLOGICE

Rolul activ al unei organizaţii industriale în procesul de dezvoltare a economiei naţionale se realizează prin atribuţiile sale în domeniile prezentate în figura 17.8.

17.4.1. Generalităţi

Referitor la acestea se fac următoarele precizări:

- In domeniul stabilirii indicatorilor economici, al executării şi controlului îndeplinirii lor, atribuţiile se împart în două mari grupe:

    - Privind elaborarea şi fundamentarea indicatorilor economici, unde organizaţia industrială realizează dimensionarea judicioasă a economiei, ţinând seama de misiunea ei şi obiectivele strategice stabilite. Pentru buna funcţionare a acestor indicatori economici, organizaţia asigură:

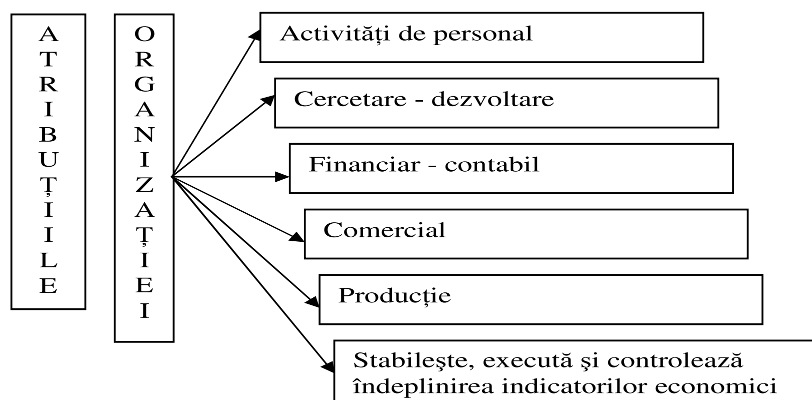


Fig. 17.8. Principalele atribuții ale organizației în cadrul economiilor moderne.

- studierea şi cunoaşterea temeinică a pieței interne şi externe;
- contractarea întregii producții;
- valorificarea la maximum a potențialului productiv prin utilizarea integrală a capacității de producție;
- asigurarea folosirii raționale a forței de muncă şi lărgirea profilului de fabricație;
- elaborarea, directă sau cu institute de profil, de studii şi prognoze privind dezvoltarea de perspectivă;
- elaborarea programelor speciale pe diferitele probleme şi stabilirea sarcinilor ce revin subunităților de producție, secțiilor, atelierelor ş.a.
- Privind execuția indicatorilor economici,organizația:
  - urmăreşte îndeplinirea ritmică şi integrală a acestora;
  - ține evidența statistică a realizării producției şi a folosirii capacităților de producție ca şi a celorlalți indicatori.

- În domeniul producției, organizația are atribuțiile:
  - asigură încadrarea în consumurile normate de materiale şi valorificarea superioară a acestora;
  - organizează şi asigură îndeplinirea programelor de producție în condiții de eficiență ridicată;
  - asigură realizarea ritmică a producției, livrarea produselor în corelare cu termenele contractuale precum şi realizarea sarcinilor de cooperare în producție;
  - asigură executarea producției la parametrii calitativi stabiliți;
  - organizează controlul tehnic de calitate;
  - stabileşte lucrările de mică mecanizare;
  - ia măsuri pentru reducerea consumurilor specifice, optimizarea stocurilor de valori materiale şi eliminarea cheltuielilor neeconomicoase;
  - foloseşte rațional, întreține, repară şi modernizează mijloacele fixe;
  - asigură încărcarea optimă a capacităților de producție;

- ia măsuri pentru realizarea parametrilor proiectaţi ai produselor;
- stabileşte şi întreprinde măsuri pentru creşterea producţiei;
- asigură alimentarea cu diferitele tipuri de energie şi folosirea raţională a instalaţiilor energetice;
- aplică normele de protecţie şi igienă a muncii ş.a.

- În domeniul *comercial*, organizaţia are atribuţii ce se pot încadra în trei grupe:

- Aprovizionarea tehnico-materială.
  - elaborarea şi fundamentarea programului de aprovizionare tehnico-materială;
  - asigurarea bazei materiale necesare realizării în bune condiţii a sarcinilor de plan;
  - încheierea contractelor economice şi realizarea aprovizionării la termenele necesare;
  - elaborează norme de stoc pentru materialele necesare;
  - ia măsuri pentru preîntâmpinarea formării de stocuri supranormative şi pentru valorificarea operativă a celor disponibile;
  - asigură recepţia materialelor, depozitarea şi conservarea lor ş.a.
- Marketing şi desfacere.
  - încheie contracte economice şi urmăreşte executarea întocmai a acestora;
  - urmăreşte livrarea produselor la termenele şi în condiţiile prevăzute în contracte;
  - participă la prospectarea pieţei interne şi externe în scopul cunoaşterii cerinţelor consumatorilor;
  - asigură reclama, participă la expoziţii şi târguri, elaborează şi difuzează cataloage comerciale;
  - ia măsuri pentru introducerea -în fabricaţie numai a produselor care au asigurată desfacerea prin contracte sau comenzi ferme;
  - organizează şi urmăreşte în exploatare instalaţiile şi utilajele livrate;
  - realizează activităţi de „service";
  - rezolvă reclamaţiile referitoare la calitatea producţiei, cantitatea şi termenele de livrare ş .a.
- Comerţul exterior şi cooperarea economică internaţională:
  - încheie contracte cu beneficiarii externi, asigurând fundamentarea indicatorilor economici pentru export pe bază de contracte, contracte-cadru, comenzi sau convenţii;
  - acţionează pentru asigurarea necesarului de comenzi şi contracte pe perioade cât mai lungi, intrarea în raporturi de cooperare cu întreprinderi şi firme din alte ţări;
  - se ocupă cu organizarea corespunzătoare a producţiei destinate exportului, de realizarea şi livrarea fondului de marfa destinat beneficiarilor externi;

- participă singură sau împreună cu organizațiile specializate de comerț exterior la prospectarea pieței externe, la negocierea şi încheierea contractelor ferme, contractelor-cadru, comenzilor sau convențiilor pentru producția de export, participând la cooperarea în producție cu firme şi organizații din străinătate;
- urmăreşte permanent creşterea eficienței financiar- valutare a operațiilor de comerț exterior;
- rezolvă reclamațiile referitoare la calitatea şi cantitatea producției, termene de livrare ş.a.

- În domeniul financiar-contabil, atribuțiile se încadrează în două grupe:
- Întocmirea şi execuția bugetului de venituri şi cheltuieli:
    - elaborează bugetul de venituri şi cheltuieli, urmărind să-şi acopere din veniturile obținute cheltuielile şi să obțină beneficii;
    - elaborează propuneri pentru planul de credite şi de casă;
    - efectuează studii şi analize în vederea creşterii eficienței folosirii mijloacelor fixe, sporirii beneficiilor, accelerării vitezei de rotație a mijloacelor circulante;
    - stabileşte nivelul stocurilor de materii prime, materiale, produse;
    - ia măsuri pentru executarea întocmai a bugetului de venituri şi cheltuieli şi crearea resurselor financiare necesare pentru acoperirea costurilor de producție şi de circulație, desfăşurarea normală a activității economice, constituirea fondurilor proprii, rambursarea creditelor bancare precum şi menținerea echilibrului între venituri şi cheltuieli.
- Alte atribuții:
    - urmăreşte situația valorilor materiale;
    - organizează şi exercită controlul financiar-preventiv şi controlul gestionar de fond asupra gospodăririi mijloace-lor materiale şi băneşti;
    - organizează şi conduce contabilitatea, întocmind bilanțul contabil şi situația principalilor indicatori economico-financiari;
    - stabileşte prețuri şi tarife la produsele şi serviciile executate;
    - face inventarierea bunurilor din patrimoniul ei

- În domeniul cercetării şi dezvoltării, atribuțiile organizației se împart în trei grupe:

- Cercetarea ştiințifică, ingineria tehnologică şi introducerea progresului tehnic, unde:
    - elaborează în colaborare cu institutele de cercetare şi proiectare de profil:
        - planuri proprii de cercetare ştiințifică, inginerie tehnologică şi de introducere a progresului tehnic;
        - studii, documentații şi proiecte privind realizarea de produse noi şi modernizarea celor existente, dezvoltarea şi modernizarea utilajelor, reutilări, extinderi de capacități, perfecționări de tehnologii ş.a.;

- aplică în producție şi valorifică studiile şi cercetările ştiințifice;
- organizează activitatea de cercetare şi introducerea progresului tehnic, normele de consum de materiale şi normele de muncă;
- organizează activitatea de invenții şi inovații;
- asigură informarea, documentarea şi propaganda tehnico-ştiițifica.

- Pentru investiții şi construcții.
  - elaborează planurile de investiții, de finanțare şi creditare a acestora;
  - asigură din timp, potrivit legislației existente, documentațiile tehnîco-economice necesare;
  - încheie contracte de antrepriză şi contracte de livrare a utilajelor, corelate cu termenele de punere în funcțiune;
  - urmăreşte realizarea obiectivelor de investiții şi aprobă recepția investițiilor care intră în componența sa.
- Organizarea conducerii, a producției şi a muncii presupune:
  - efectuarea de studii privind perfecționarea structurii organizatorice;
  - organizarea pe baze ştiințifice a activității de conducere şi de producție;
  - realizarea sistemului informațional;
  - perfecționarea regulamentelor în vigoare;
  - aplicarea celor mai modeme şi eficiente metode de organizare, programare şi urmărire, de optimizare a fluxurilor de fabricație;
  - îmbunătățirea organizării şi normării muncii, organizarea rațională a locurilor de muncă şi a muncii pe schimburi;
  - aplicarea studiilor şi proiectelor de organizare ş.a.
- In domeniul activităților de personal:
  - asigură evidența cadrelor şi aplicarea unor criterii obiective de apreciere anuală;
  - organizează orientarea profesională, selecționarea, încadrarea în muncă şi promovarea personalului;
  - stabileşte indicatorii referitori la asigurarea, pregătirea şi perfecționarea forței de muncă pe meserii şi specialități;
  - organizează perfecționarea pregătirii personalului muncitor;
  - asigură baza materială a unităților şcolare, dotarea acestora şi cadrele de specialitate necesare;
  - asigură salarizarea personalului, aplicarea formelor de stimulare materială;
  - ia măsuri pentru îmbunătățirea condițiilor de muncă, prevenirea accidentelor de muncă, folosirea rațională a forței de muncă şi respectarea disciplinei muncii;
  - ia măsuri pentru organizarea activității cu caracter administrativ, pentru înființarea de cantine, creşe, grădinițe, grupuri sociale, pentru asigurarea asistenței medicale, a spațiului locativ, a bazei materiale pentru acțiuni cultural-sportive, întocmirea dosarelor de

pensii, luarea de măsuri faţă de persoanele care au comis abateri s.a.

Evaluarea compatibilităţilor dintre activitatea organizaţiei industriale şi restricţiile ecotehnologice înseamnă, în ultimă instanţă, formularea unui diagnostic global în sensul precizat, care se poate baza pe şase grile de analiză:

- importanţa rezervată problemelor de mediu în strategia generală a organizaţiei;
- reflectarea problemelor de mediu în strategia de comunicare şi de marketing,
- reflectarea problemelor de mediu în strategia de producţie;
- reflectarea problemelor de mediu în strategia de asigurare cu resurse umane;
- reflectarea problemelor de mediu în strategia juridica şi financiară;
- reflectarea problemelor de mediu în strategia cercetare-dezvoltare.

Se propune următorul conţinut al grilelor de analiză, structurat pe cinci niveluri de reprezentare a fenomenelor şi proceselor de mediu, în efortul general şi, pe domenii, la nivel de organizaţie ecotehnologică (tab. 17.5, 17..6, 17.7, 17.8 şi 17.9).

Tabelul 17.5. **Locul conservării mediului în strategia generală a organizaţiei:**

Nivel de prezentare(elemente)	1	2	3	4	5
1. Nivelul ierarhic de asumare a responsabilităţilor de mediu			*		
2. Ponderea cheltuielilor pentru mediu (mai puţin investiţii) în bugetul organizaţiei				*	
3. Investiţii pentru conservarea mediului			*		
4. Importanţa acordată politicii de comunicare interna în managementul mediului					*
14. Importanţa politicii de comunicare externă în managementul mediului					*
6. Importanţa acordata creşterii numărului susţinătorilor ecologizării activităţii					*
7.Distribuirea eficienta (eficace şi economicoasă) a responsabilităţilor de mediu				*	
8. Perceperea necesitaţii ecologizării activităţii pentru mediul intern organizaţiei				*	
9. Perceperea necesitaţii ecologizării activităţii pentru mediul extern organizaţiei				*	
10. Ponderea problemelor de mediu în activitatea de cercetare-dezvoltare.				*	
Nivel de prezentare(elemente)	Msg = (Σ Ei/50)*100 Ei = nivelul de reprezentare a elementului i				

Msg = (41/50)*100=82%

17.4.2. Locul conservării mediului în strategia generală a organizaţiei

Evaluarea importanţei globale acordate conservării mediului strategia generală (Msg) a organizaţiei (tab. 17.5), are ca punct de plecare nivelul ierarhic de asumare a responsabilităţilor de mediu, practica înregistrând în acest sens mai multe situaţii:

- asumarea responsabilităţilor de către managerul general;

- asumarea responsabilităților de către un compartiment:
    - relațiile cu publicul;
    - supravegherea şi verificarea calității producției;
    - asigurarea securității în desfăşurarea proceselor tehnico-productive
- asumarea responsabilităților de către mai multe compartimente;
- asumarea responsabilităților de către un compartiment specializat.

17.4.3. Strategia de comunicare şi marketing

Deoarece comunicarea în managementul mediului este un proces continuu, se apreciază că instituția cea mai vizată este aceea a organizației, pentru care proiectarea noțiunii de protecție a mediului în planul imaginii prezintă numeroase avantaje. Delimitate, din punct de vedere al sistemului de referința, comunicarea internă şi externă în managementul mediului se află într-o relație de feed-back, deoarece comunicarea internă dă consistență mecanismului de transmitere a imaginii, sporind eficiența comunicării externe. Ponderea cea mai importantă trebuie să o aibă comunicarea internă, fiind necesară difuzarea oricărei informații, mai întâi în mediul social intern, şi apoi în cel extern, ca o condiție a valorificării competențelor instituției în cauză, a experienței dobândite în timp (tab. 17.6.).

Tabelul 17.6. **Strategia de comunicare şi marketing**

Nivel de reprezentare (elemente)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
1. Obiectivele ecologizării activității sunt clar formulate?					*
2. Intenționați sa măriți numărul adepților unei activități				*	
3. Solicitați partenerilor un comportament şi o eficacitate în concordanță cu obiectivele ecologizării?				*	
4. Actualele produse (servicii) obținute pot beneficia de o			*		
14. Aveți în vedere obținerea unor produse cu „etichetă verde"?					*
6. Alocați prin buget resurse pentru comunicarea externa cu clienții, în legătură cu caracteristicile ecotehnologice ale produselor(serviciilor)?				*	
7. Dispuneți de o cartă verde în relațiile cu furnizorii?				*	
8. Intenționați să modificați structura produselor (serviciilor) într-un sens favorabil mediului ținând cont de: - public?					*
- clienți ?					*
- furnizori ?					*
- asiguratori ?		*			
- acționari ?		*			
- colaboratori ?			*		

9. Cât de mare este efortul de comunicare externă (în afara clienților) „verde"?			*		
10. Dispuneți de mijloace pentru prognozarea parametrilor ecologici ai produselor (serviciilor)realizate?		*			
Reflectarea problemelor de mediu în strategia de comunicare şi de marketing (Mcm)	Mcm=(ΣEi/75)*100 Ei = nivelul de reprezentare a elementului i				

Mcm = (56/65)*100 = 74.66 ≈ 75%

17.4.4. Reflectarea problemelor de mediu în strategia de producție

Se determină folosind nivelul de reprezentare (elementele) cuprins în tabelul 17.7.

Tabelul 17.7. **Reflectarea problemelor de mediu în strategia de producție**

Nivelul de reprezentare (elemente)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
1. Securitatea activității reprezintă unul din obiectivele prioritare?					*
2. Dispuneți de structuri organizatorice şi mijloace pentru promovarea calității totale?					*
3. Procesele tehnologice sunt concepute în concordanță cu restricțiile ecotehnologice?				*	
4. Colaboratorii sunt formați şi informați pentru asumarea responsabilităților de mediu?					*
14. Organizația dispune de un plan de investiții decurgând din legislația de mediu corespunzătoare specificului activității sale?					*
6. Aveți în vedere poziția organizației pe piața concurențială a tehnologiilor de transformare utilizate?					*
7. Ce loc ocupă organizația în domeniul utilizării tehnologiilor curate ?				*	
8. Ce rol au studiile de impact în procesul de integrare al politicii de mediu în politica generală a organizației?				*	
9. Dispuneți de un sistem de analiză chiar şi pentru situațiile de criză ecologică mai puțin grave?			*		
Nivelul de reprezentare (elemente)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
10. Aveți un manual cuprinzând, în forma explicită, măsurile de securitate şi întreținere pentru zona de desfăşurare a activității?					*
11. Sunt aplicate în practică măsurile şi instrucțiunile de securitate şi întreținere a zonei de impact ?					*
12. Serviciul intern de securitate privind activitatea realizează o evidență obiectivă a impactului sistemului tehnico-productiv asupra mediului?				*	
13. Structurile organizației cu responsabilități în domeniul calității iau în calcul calitatea vieții în sens larg?				*	

14. Se realizează periodic o analiza a punctelor „slabe” şi “forte” în materie de încadrare a activităţii organizaţiei în restricţiile ecotehnologice?					*
114. Decizia de a investi, reflecta şi posibila evoluţie a opiniei publice şi a reglementărilor legate de conservarea mediului ?					*
Reflectarea problemelor de mediu în strategia de producţie (Mp)	Mp=(ΣEi/75)*100 Ei = nivelul de reprezentare a elementului l				

Mp=(68/75)*100 = 90,66 ≈ 91%

17.4.5. Reflectarea problemelor de mediu în strategia de asigurare cu resurse umane

Fiecare organizaţie trebuie să aibă în organizaţie pe cineva responsabil cu problemele de mediu şi aspectele de conformare, în funcţie de mărimea fabricii şi de natura afaceri. Această poziţie poate să nu fie o responsabilitate permanentă. Liderii de mediu trebuie selecţionaţi după acpacităţile dovedite şi nu numiţi în funcţie pentru că erau disponibili.Conducerea organizaţiei trebuie să înţeleagă că această persoană va reprezenta organizaţia în relaţiile cu autorităţile şi va răspunde de obţinerea informaţiilor pentru diverse rapoarte interne şi externe. Deoarece conducerea trebuie să-şi asume responsabilitatea legală finală pentru aceste rapoarte, are nevoie de o persoană pe care să se poată baza. Candidatul trebuie selecţionat pentru integritatea sa şi abilitatea demonstrată de a rezolva cu acurateţe diferite situaţii.

Tabelul 17.8. **Reflectarea problemelor de mediu în strategia de asigurare cu resurse umane.**

Nivelul de reprezentare (elemente)	1	2	3	4	5
1 .La nivel de organizaţie, politica de mediu se reflectă în politica asigurării cu resurse umane ?			*		
2. Colaboratorii promovează din proprie iniţiativă obiectivele politicii			*		
3. Criteriul ecologic face parte din sistemul criteriilor de alegere a subordonaţilor ?	*				
4. Formarea, informarea colaboratorilor în materie de mediu reprezintă un efort material şi financiar consecvent?			*		
14. Importanţa preocupărilor de conservare a mediului se reflectă în stabilirea structurilor ierarhice?			*		
6. Putem vorbi de o responsabilitate generalizată a problemelor de mediu la nivel de organizaţie?				*	
7. La nivelul structurilor de conducere este responsabilizată perceperea riscurilor ecotehnologice generate de activitatea organizaţiei?					*
8. În caz de accident tehnic, există un plan de acţiune care să mobilizeze toţi colaboratorii?					*
9. În caz de criză nontehnică, există un plan de acţiune pentru ansamblul colaboratorilor în scopul salvgardării mediului?				*	

10. Descrierea posturilor colaboratorilor reflectă experiența unor accidente şi rezultatele cercetării în domeniul mediului?			*		
Reflectarea problemelor de mediu în strategia de asigurare cu resurse umane (Mru)	Mru=(ΣEi/50)*100 Ei = nivelul de reprezentare a elementului i				

Mru = (34/50)*100 = 68%

17.4.6. Reflectarea problemelor de mediu în strategia juridică şi financiară (tab. 17.9):

Principalele acte normative în vigoare cu referire la protecția mediului sunt:

- Legea 73/2000 - Legea Fondului pentru mediu;
- Ordinul 340/2000, pentru aprobarea Nomenclatorului de lucrări şi servicii, care se prestează de către autoritățile pentru protecția mediului în regim de tarifare şi cuantumul tarifelor aferente;
- Legea 107/1996 - Legea Apelor;
- Ordinul 125/1996 - Procedura de reglementare a activităților economico-sociale cu impact asupra mediului;
- Ordinul 756/1997, pentru aprobarea 'Reglementarii privind evaluarea poluării mediului;
- Ordinul 278/1996, pentru aprobarea Regulamentului de atestare pentru elaborarea studiilor de impact asupra mediului şi a bilanțurilor de mediu;
- Ordinul 699/1999, pentru aprobarea Procedurii şi competențelor de emitere a avizelor şi autorizațiilor de gospodărire a apelor;
- Legea 8/1991, pentru ratificarea Convenției asupra poluării atmosferice transfrontaliere la distanțe lungi, încheiate la Geneva, la 13 noiembrie 1979;
- Legea 84/1993, pentru aderarea României la Convenția privind protecția stratului de ozon, adoptată la Viena, la 22 martie 1985, şi la Protocolul privind substanțele care epuizează stratul de ozon, adoptat la Montreal, la 16 septembrie 1987, şi pentru acceptarea. Amendamentului la Protocolul de la Montreal privind substanțele care epuizează stratul de ozon, adoptat la cea de-a doua reuniune a partidelor de la Londra, din 27-29 iunie 1990;
- Legea 24/1994, pentru ratificarea Convenției cadru a Națiunilor Unite asupra schimbărilor climatice, semnată la Rio de Janeiro la 5 iunie 1992.

Conform Legii 137/1995 - Legea Protecției Mediului, principiile şi elementele strategice în scopul asigurării unei dezvoltări durabile sunt:

- Principiul precauției în luarea deciziilor;
- Principiul prevenirii riscurilor ecotehnologice şi a producerii daunelor;

- Principiul conservării biodiversității şi a ecosistemelor specifice cadrului biogeografic natural;
- Principiul poluatorul plăteşte;
- Menținerea, ameliorarea calității mediului şi reconstrucția zonelor deteriorate;
- Crearea sistemului național de monitorizare integrată a mediului.
- Protecția apelor de suprafață şi subterane, şi menținerea şi ameliorarea calității şi productivității naturale ale acestora, în scopul evitării unor efecte negative asupra mediului, sănătății umane şi bunurilor materiale.

Persoanele fizice şi juridice au următoarele obligații:

- să ceară acordul şi\sau autorizația de mediu pentru activitățile prevăzute. Sunt exceptate de la autorizare puțurile forate la adâncimi până la 50 m, pentru satisfacerea cerințelor gospodăriilor individuale;
- să respecte standardele de emisie şi de calitate a apelor, prevederile din acordul şi din autorizația de mediu şi să pună la dispoziție laboratoarelor autorizate, la termenele stabilite, probele de apă pentru analiză;
- să asigure, la cererea autorităților pentru protecția mediului, diminuarea, modificarea sau încetarea activității generatoare de poluare, să asigure măsuri şi dotări speciale pentru izolarea şi protecția fonică a surselor generatoare de zgomot şi vibrații, să verifice eficiența acestora şi să pună în exploatare numai pe cele care nu depăşesc pragul fonic admis;
- să asigure sisteme proprii de supraveghere a instalațiilor şi proceselor tehnologice, pentru analiza şi controlul poluanților pe raza de incidența activităților desfăşurate şi evidența rezultatelor, în scopul prevenirii şi evitării riscurilor tehnologice şi eliberărilor accidentale de poluanți în mediu, raportează lunar rezultatele supravegherii mediului autorității competente pentru protecția mediului.

Se pedepseşte cu închisoare de la 2 la 7 ani:

- eliberarea acordului şi\sau autorizația de mediu, fără documentația completă obligatorie;
- prezentarea în studiile şi analizele de impact, a unor studii şi analize false;
- introducerea în țara a unor deşeuri sau substanțe periculoase în scopul depozitarii şi\sau distrugerii;
- nesupunerea la testare a oricărei substanțe noi din țară sau străinătate;
- omisiunea de a raporta prompt despre orice accident major;
- aplicarea necorespunzătoare sau neluarea măsurilor de intervenție în caz de accident nuclear;
- provocare cu bună ştiință de poluare, prin evacuarea sau scufundarea directă în apele naturale ;
- refuzul intervenției în cazul poluării accidentale a apelor.

Tabelul 17.9. **Reflectarea poblemelor de mediu în strategia juridică și financiară**

Nivelul de reprezentare (elemente)	1	2	3	4	5
1. Respectarea reglementarilor de mediu, la nivel de organizație, reprezintă o responsabilitate la cel mai înalt nivel ierarhic?					*
2. Există, la nivel de organizație, un sistem propriu de audit juridic pe probleme de mediu?				*	
3. Sunt definite responsabilitățile: morală, penală, civilă, administrativă în caz de criză ecologică?			*		
4. Există un plan de acțiune în caz de criză ecologică?				*	
14. Organizația are capacitatea de a finanța oricând o expertiză în domeniul juridic și al reglementărilor pe probleme de mediu?				*	
6. Există preocupare pentru actualizarea obiectivelor ecotehnologice ale organizației în termeni financiari?				*	
7. Obiectivele managementului mediului sunt decise, la cel mai înalt nivel ierarhic din organizație?					*
8. Exista un plan pe termen mediu și lung al acțiunilor de menținere a calității mediului?					*
9. In diagrama relațiilor funcționale sunt reprezentate și cele aparținând contabilității de mediu?					*
10. Raportul anual privind activitatea întreprinderii prevede și un capital mediu?					*
Reflectarea problemelor de mediu în strategia juridică și financiară(Mjf)	Mjf=(ΣEi/50)*100 Ei = nivelul de reprezentare a elementului i				

Mjf=(44/50)x100=88%

17.4.7. Reflectarea problemelor de mediu în strategia de cercetare-dezvoltare

În cazul organizației, departamentul de cercetare-dezvoltare nu funcționează la cei mai inalți parametrii.În fiecare lună se realizează monitorizarea emisiilor în cazul aerului - acest lucru este făcut de către o firmă specializată în această privință.În cazul apelor, monitorizarea este făcută tot de către o firmă specializată, dar zilnic este controlată apa în laboratorul propriu.

Tabelul 17.10

Nivel de reprezentare (elemente)	1	2	3	4	5
1. Tehnicile și tehnologiile utilizate în prezent sunt inofensive pentru mediu?			*		
2. Există, la nivelul organizației, resurse tehnologice de îmbunătățire a performanței ecotehnologice?				*	
3. Grija pentru mediu reprezintă principalul mobil al activității de cercetare-dezvoltare?				*	
4. Restricțiile în obținerea licențelor/brevetelor prezintă o marjă redusă de manevră în favoarea mediului?		*			
5 Raportul preț/tehnologie este favorabil unei politici de mediu?					*

6. Există un plan de dezvoltare a tehnicilor şi tehnologiilor „verzi"?					*
7.Cunoaşteţi impactul tehnologiilor utilizate în condiţii normale				*	
8. În condiţii de criză?				*	
9. Vă preocupă tehnologiile/tehnicile cele mai avansate în					*
10. Putem înţelege ca structura tehnologică este influenţată de cerinţele externe(organizaţiei) în materie de managementul mediului?				*	
Reflectarea problemelor de mediu în strategia de cercetare-dezvoltare (Mcd)	Mcd=(ΣEi/50)*100 Ei = nivelul de reprezentare a elementului i				

Mcd=(40/50)x100=80%

În cadrul organizaţiei se prezintă un diagnostic global privind importanţa acordată politicii de mediu în strategia organizaţiei (tab. 17.11) şi curba normală de reflectare a politicii de mediu în figura 17.9

Tabelul 17.11. **importanţa acordată politicii de mediu**

Domeniul	**Nivelul de reprezentare**
1. Strategia generală	82 a = 0.17
2. Strategia de comunicare	79 a = 0.16
3. Strategia de producţie	91 a = 0.19
4. Strategia de asigurare cu resurse umane	68 a = 0.14
14. Strategia juridică şi financiară	88 a = 0.18
6. Strategia de cercetare-dezvoltare	80 a = 0.16
Diagnosticul global (Mg)	Mg = Σajmj/6 Mj = importanţa acordată politicii de mediu Aj = importanţa domeniului j în raport cu problemele de mediu.

Mg = 13.6%

Concluzii:

In urma grilelor rezolvate în cadrul organizaţiei, se observă că: punctajul cel mai mare a fost obţinut de strategia de producţie - acest lucru este foarte important, deoarece în orice organizaţie este necesar sa se obţină o producţie cât mai mare pentru ca firma sa obţină profiturile scontate.

Locul doi a fost ocupat de strategia juridică şi financiară cu nivel de reprezentare de 88, acest lucru relevă faptul că societatea respectă legile statului având o grijă deosebită în acest sens.

Pe locul trei se află strategia generală cu nivel de reprezentare 82, urmat pe locul patru de strategia de comunicare - relevând un interes crescut faţă de comunicare, cu implicaţii atât în comunicarea internă, cât şi în comunicarea

externă, deoarece comunicarea internă dă consistență mecanismului de transmitere a imaginii, sporind eficiența comunicării externe.

Ultimul loc este ocupat de strategia de asigurare cu resurse umane, acest lucru este datorat angajărilor.

Din graficul prezentat mai sus, se observă următorul aspect: curba reală de reflectare a politicii de mediu se apropie foarte mult de curba normală de reflectare a politicii de mediu.

Zona de importanță şi reprezentanță scăzută a fost obținută de strategia de asigurare cu resurse umane. Strategia de comunicare s-a încadrat în zona de reprezentare medie şi în zona de importanță scăzută.

Strategia de producție s-a încadrat în zona de importanță majoră şi în zona de reprezentare puternică.

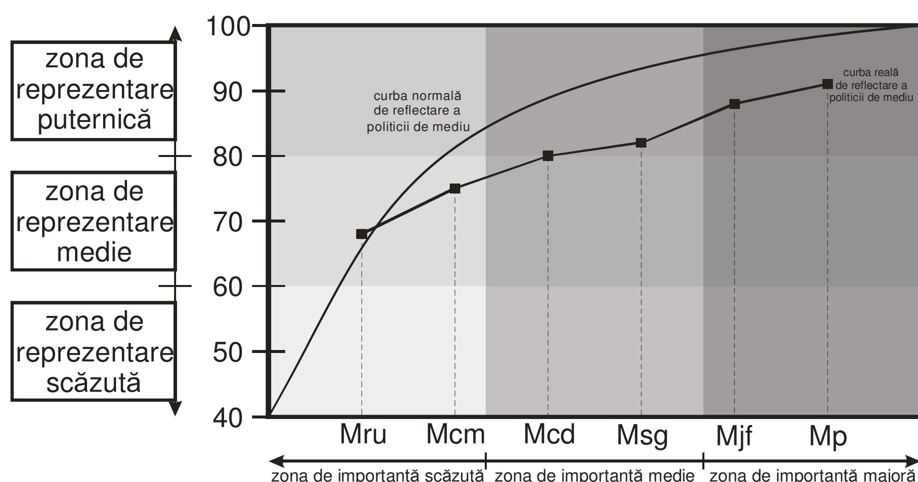


Fig. 17.9 Curba normală de reflectare a politicii de mediu

17.5. CÂTEVA PROPUNERI PRIVIND DIRECȚIILE DE DEZVOLTARE ŞI TRANSFORMARE A UNEI ORGANIZAȚII ÎNTR-O ORGANIZAȚIE ECOTEHNOLOGICĂ

17.5.1. Acțiuni în domeniul mediului

Dezvoltarea durabilă a organizației ecotehnologice nu poate fi realizată doar prin efortul organizației, ci necesită participarea tuturor sectoarelor societății. Guvernul are de jucat un rol important, prin intermediul legilor, reglementărilor, sistemelor de impunere a taxelor şi alte măsuri.

Principalele activități pe care ar putea să le efectueze Guvernul în scopul gestionării organizațiilor ecotehnologice pe baze durabile sunt:

- utilizarea reglementărilor de comandă şi control şi a stimulentelor economie pentru a forța industria să internalizeze costul deprecierii

mediului, făcând din acest motiv poluatorul (şi în final consumatorul) să plătească;
- elaborarea de planuri şi adoptarea de politici care să încurajeze organizațiile ecotehnologice să utilizeze factorii de mediu şi resursele naturale în mod adecvat, fără a influența în mod negativ productivitatea;
- efectuarea sau sponsorizarea cercetărilor din domeniul mediului;
- colectarea şi diseminarea datelor semnificative, referitoare la emisiile poluante şi a efectelor acestora asupra sănătății umane şi a mediului, în scopul de a crea conştientizarea publică asupra problemelor şi o cerere de produse şi servicii nepericuloase pentru mediu;
- participarea la acordurile internaționale destinate reducerii poluării, care provoacă efecte transfrontalieră.

Rolul reglementărilor din domeniul mediului este acela de a schimba comportamentul organizației ecotehnologice, în scopul reducerii pagubelor produse asupra mediului. În terminologia de mediu, programele de reglementări sunt numite adesea programe de comandă şi control.

Programele de comandă şi control eficiente realizează următoarele:
- stabilesc standardele pentru organizația ecotehnologică, care precizează activitățile necesare de control al poluării sau cantitatea permisă de poluanți evacuați;
- emit autorizații care precizează cerințele de mediu pentru fiecare organizației ecotehnologică sau amplasamentul acesteia;
- supraveghează conformarea organizației ecotehnologice cu cerințele impuse prin autorizație. Activitatea poate fi îndeplinită prin auto monitoringul organizațiilor, inspecții independente, plângerile cetățenilor şi/sau monitoringul ambiental;
- aplică condițiile din autorizație, utilizând sancțiunile neformale, administrative, civile şi penale.

Standardele de mediu se pot defini în trei moduri:
- **Standarde tehnologice**. Acestea solicită organizației să reducă evacuările de poluanți, în baza performanțelor aşteptate de la tehnologia disponibilă, dar nu consideră efectele asupra mediului. Funcționarii guvernamentali preferă de obicei standardele bazate pe tehnologie, deoarece acestea sunt uşor de urmărit. Organizația ecotehnologică le consideră de obicei prea costisitoare pentru rezultatele realizate;
- **Standarde ambiante**. Acestea solicită organizației ecotehnologice să reducă evacuările de poluanți până la limita impusă de atingerea unui nivel prestabilit al concentrației. Funcționarii guvernamentali consideră că procedurile care leagă evacuările de poluanți de standardele ambiante, precum şi atribuirea de responsabilități surselor de poluare individuale sunt dificile şi costisitoare. Organizația ecotehnologică preferă standardele ambientale deoarece orientează resursele mai sărace către probleme mai serioase;

- **Standarde bazate pe beneficiu**. Acestea solicită organizaţiei ecotehnologice să reducă evacuările de poluanţi numai în măsura în care ar exista un echilibru rezonabil între beneficiile şi costurile măsurilor aplicate. Funcţionarii guvernamentali găsesc dificilă elaborarea de standarde bazate pe beneficiu datorită necesarului mare de date ce trebuie colectate şi analizate. Organizaţia încurajează acest tip de standarde.

Una dintre criticile care sunt aduse abordării reglementărilor de comandă şi control este aceea că accentuarea unui factor de mediu unic (apă sau aer sau, sol) poate conduce la generarea de noi probleme pentru mediu.

Astfel:

- reducerea cu succes a problemelor de poluare locală a aerului sau apei, a contribuit adeseori la deplasarea problemei deşeurilor pe pământ: poluanţii extraşi din aer sau apă au fost evacuaţi în gropi de deşeuri sau în iazuri de decantare;
- rezolvarea problemei poluării aerului în anumite zone, prin construirea de coşuri înalte (diluţie) a condus la apariţia de depuneri acide la mari distanţe. Ca urmare, după 1990 mai multe ţări au luat măsuri organizatorice şi legislative de schimbare, care vor crea posibilitatea instituţiilor de a utiliza abordarea de tip multi media în scopul managementului de mediu.

Există câteva argumente pentru abordarea de tip multi media faţă de abordarea de tip comandă şi control:

- organizaţia ecotehnologică poate alege opţiunea care are costul cel mai scăzut. Inginerii sunt de părere că o abordare integrată a reducerii tuturor tipurilor de evacuări a poluanţilor dintr-o fabrică este mai puţin costisitoare decât tratarea separată a eliberării lor în apă, aer sau sol;
- se pot stabili priorităţi. O abordare integrată permite compararea riscurilor de mediu cu costul reducerii poluării. Aceasta permite de asemenea, atribuirea de resurse sărace problemelor cu cel mai mare potenţial de reducere a pagubelor;
- sistemele de administrare sunt mai simple. O abordare integrată necesită o singură autorizaţie, care să acopere toţi factorii de mediu;
- se promovează cooperarea cu celelalte politici sectoriale. O abordare integrată este un argument convingător că toate sectoarele (energetic, transporturi şi de fabricaţie) constituie surse de poluare legate de activitatea organizaţiei şi că toate ministerele importante trebuie să conlucreze pentru rezolvarea acestor probleme.

Impunerea reglementărilor de comandă şi control asupra organizaţiei ecotehnologice, constituie un proces contestat, care implică adeseori costurile legale substanţiale şi multe amânări. Dacă reprezentanţii organizaţiei ecotehnologice sunt dornici să coopereze, Guvernul poate negocia înţelegeri planificate. O înţelegere planificată reprezintă o garanţie a organizaţiei ecotehnologice de a îndeplini obiective de mediu care sunt acceptabile pentru guvern. Această metodă funcţionează bine în sectoarele care posedă relativ puţine

organizații, dar de mare capacitate (United Nations Industrial Development Organization, 2002).

Politicile economice stimulative care pot reduce poluarea includ:

- taxele pentru poluare. Guvernul stabileşte o amendă sau o taxă pentru poluanți, dar permite ca nivelul evacuării de poluanți să varieze. Formele obişnuite ale acestor plăți sunt amenzile, sau taxele impuse emisiilor sau efluenților, plătite de întreprinderile care evacuează poluanți în stațiile de tratare publice;
- permisele comercializabile. Guvernul stabileşte o limită a nivelului de poluare pentru fiecare permis emis. Permisele se bucură de dreptul de proprietate şi constituie bunuri comercializabile pe piață între părți. Prețului unui permis i se permite să fluctueze în funcțiile de condițiile pieței;
- subvențiile. Subvențiile pot îmbrăca multiple forme, incluzând donații, împrumuturi cu dobânzi sub valoarea pieței şi deprecierea accelerată. Deşi acest tip de stimulent furnizează un motiv economic de reducere a evacuărilor de poluanți, el violează principiul poluatorul plăteşte şi, în cazul donațiilor, creează o tendință de supra-construire a instalațiilor de reducere a poluării;
- constrângerile. Acestea sunt de obicei constituite din amenzi impuse pentru nerespectarea condițiilor prevăzute în autorizația pentru evacuarea poluanților. Atribuirea automată a amenzilor scuteşte timpul pierdut pentru negocierea cu poluatorii. Amenzile pentru neconformare nu reprezintă adevărate stimulente economice, deoarece ele nu sunt deliberate şi nici lipsite de coerciție ca acțiunile întâlnite pe piețele particulare.

Stimulentele economice pot:

- să promoveze soluțiile cu costuri minime pentru rezolvarea problemelor de mediu;
- să stimuleze dezvoltarea tehnologiei de prevenire/control al poluării în sectorul privat;
- să furnizeze guvernului o sursă de venituri pentru a sprijini programele de prevenire şi control al poluării;
- să furnizeze flexibilitate în alegerea tehnologiei de prevenire şi control al poluării;
- să micşoreze cantitatea de documente referitoare la reglementările de mediu.

Politicile de alegere a amplasamentelor organizațiilor ecotehnologice, pot contribui la minimizarea daunelor aduse mediului, de exemplu, prin interzicerea amplasării organizațiilor poluante în locuri dens populate, sau în locuri istorice.

Politicile de alegere a amplasamentelor pot de asemenea minimiza pagubele aduse mediului, prin încurajarea organizației ecotehnologice, în special a celor mici şi mijlocii de a-şi alege amplasamentul în zonele în care pot dispune de facilități de evacuare a apelor uzate, cu un sistem comun de tratare şi de sisteme de colectare şi reciclare a deşeurilor solide la un preț rezonabil.

Acțiunile care încurajează direct producțiile curate includ:

- legi şi regulamente care atribuie prioritate prevenirii poluării în raport cu metoda de tratare la capătul conductei;
- proceduri negociate de conformare cu normele de mediu, care încurajează minimizarea cantității de deşeuri;
- stabilirea prețului integral al energiei, apei şi materiilor prime;
- privatizarea organizațiilor ecotehnologice din sectorul public;
- furnizarea de informații asupra metodelor de minimizare a deşeurilor;
- finanțarea producțiilor curate cu titlu demonstrativ.

Acțiunile care prin reducerea poluării încurajează în mod indirect producțiile curate includ:

- strategiile naționale pentru dezvoltarea durabilă, (Agenda 21) care abordează în mod realist problemele organizațiilor ecotehnologice ca şi ale altor sectoare;
- programe de reglementări în domeniul mediului (standarde, autorizații, monitoring, activități de conformare şi aplicare), dispunând de suport tehnic şi financiar suficient;
- realizarea unui echilibru adecvat între activitățile de reglementare centralizată şi descentralizată;
- stimulente economice aplicate evacuărilor de poluanți;
- introducerea autorizațiilor de tip multi-mediu (aer, apă şi sol);
- publicarea informațiilor referitoare la eliberările de poluanți de către organizațiile ecotehnologice individuale;
- publicarea de date referitoare la efectele poluanților asupra sănătății umane şi mediului.

Acțiunile guvernamentale care descurajează producțiile curate includ:

- subvențiile pentru utilizarea energiei, apei şi a altor resurse;
- restricțiile de import, care favorizează tehnologiile indigene de tratare la capătul conductei;

17.5.2. Propunerea unui program de prevenire a poluării în cadrul unei organizații în vederea transformării în organizație ecotehnologică

Prevenirea poluării reprezintă utilizarea materialelor, proceselor sau practicilor care realizează reducerea sau eliminarea generării de poluanți sau deşeuri la sursă. Prevenirea include atât practicile care reduc utilizarea materialelor periculoase sau nepericuloase, a energiei, apei sau a altor resurse, ca şi a celor care protejează resursele naturale prin conservare, sau o utilizare mai eficientă.

Un program de prevenire a poluării ridică problema tuturor tipurilor de deşeuri.

Un program eficient de prevenire a poluării trebuie:

- să reducă riscul de răspundere civilă sau penală;
- să reducă costurile de funcționare;
- să îmbunătățească morala şi participarea angajaților;
- să sporească imaginea companiei în cadrul comunității;

- să protejeze sănătatea umană şi mediul.

În cazul prevenirii poluării, obiectivele naționale de mediu coincid cu interesele economice ale organizației şi presupun:

- Reducerea riscului de răspundere civilă sau penală.
- Reglementările din domeniul mediului
- Răspunderea civilă
- Reducerea costurilor de funcționare.
- Costurile de materiale
- Costurile de management şi depozitare a deşeurilor
- Costurile de producție
- Costurile de energie
- Costurile de curățire a întreprinderii
- Îmbunătățirea imaginii întreprinderii